



Universidad
Carlos III de Madrid

PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERÍA INDUSTRIAL SUPERIOR

COMPARACIÓN ENTRE DOS TECNOLOGÍAS DISTINTAS DE ESPESAMIENTO DE FANGOS EN UNA E.D.A.R.U.

Autor: Luis Gonzaga Vera Sequeiros

Tutor: Antonio Aznar Jiménez

Co-director: Juan Carlos Cabanelas Valcárcel

Leganés, octubre de 2011

Título: Comparación entre dos tecnologías distintas de espesamiento de fangos en una E.D.A.R.U.

Autor: Luis Gonzaga Vera Sequeiros

Director: Antonio Aznar Jiménez

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día __ de _____ de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia todo el apoyo que me han dado a lo largo de todos los años dedicados a la carrera y a mis compañeros con los cuales he compartido muchas horas de biblioteca, y gracias a los cuales, he podido llegar a este momento en mi vida. Tras muchas horas de clases, prácticas, laboratorios, etc... ahora me encuentro en el punto de partida de otra fase de mi vida, a la cual no podría haber llegado sin ellos. En especial a Sara, Noelia, Iván y Mabel.

Y especialmente quiero agradecer la gran ayuda que me aportado mi cuñada, y prácticamente hermana, Sara, la cual su apoyo ha sido fundamental para poder sacar este proyecto adelante. Su ayuda y ánimos han hecho de este proyecto el que sea una realidad ahora mismo.

Y por último agradecer a mis tutores Antonio Aznar y Juan Carlos Cabanelas la posibilidad de realizar este proyecto, y al personal de la Universidad Carlos III por todos los años vividos y por el tiempo dedicado a que me encuentre en este momento de mi vida.

Muchas gracias.

Resumen

Desde la antigüedad, la humanidad ha buscado soluciones para el problema de las aguas negras. Actualmente, las distintas zonas de población requieren de sistemas que consigan depurar las aguas negras que generan.

En este proyecto nos centramos en cómo se pueden espesar los fangos producidos en la línea de agua de una estación depuradora de aguas residuales urbanas (E.D.A.R.U.) mediante dos tecnologías diferentes.

El primer caso que se analizará será el espesamiento de los fangos primarios y secundarios que habrán sido mezclados, generando los llamados fangos mixtos, en un espesador de gravedad.

El segundo caso en estudio será el espesamiento de los fangos por separado: fangos primarios en un espesador de gravedad y fangos secundarios o biológicos en un espesador de flotación.

Para ambos casos se estudiará los parámetros de diseño de los espesadores, tomando como referencia de partida una población de 50.000 habitantes equivalentes y se hará una aproximación de los costes tomando los más relevantes para poder realizar una comparación significativa entre ambos casos, de la cuál sacar la mayor cantidad de conclusiones posibles.

Palabras claves: estación depuradora de aguas residuales urbanas (E.D.A.R.U), espesador de gravedad, espesador de flotación, fangos primarios, fangos biológicos y fangos mixtos.

Abstract

From ancient times, humanity has searched for solutions to the waste water problem. Actually, the different population areas require systems by which they can treat the waste waters that they generate.

In this project we focus in how we can thicken the sludge produced in the water line of an urban wastewater treatment station by two different technologies.

The first case to be discussed will be the thickening of the sludge resulting from the mixture of the primary and waste activated sludge, generating the so-called mixed sludge, by a gravity thickener.

The second case in study will be the thickening of the primary sludge by a gravity thickener and the biological o waste activated sludge by a dissolved air flotation system.

In both cases we will study the design parameters of the thickeners, taking as starting point a population of 50.000 inhabitant equivalent. We will be make an approximation of the most relevant costs in order to do a significant comparison between both cases, from which we will draw all the conclusions as possible.

Keywords: urban wastewater treatment station, gravity thickener, flotation thickener, primary sludge, biologic sludge and mixed sludge.

ÍNDICE

Capítulo 1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.	1
1.1	Introducción.	1
1.2	Objetivos.	3
1.3	Fases del desarrollo.	3
1.4	Medios empleados.	3
1.5	Estructura de la memoria.	4
Capítulo 2.	TEORÍA DE ESPESADORES.	6
2.1	Generalidades.	6
2.2	Espesamiento por gravedad.	7
2.3	Espesamiento por flotación.	10
2.4	Construcción de los espesadores.	13
Capítulo 3.	BASES DE PARTIDA Y CRITERIOS DE DISEÑO.	17
Capítulo 4.	CASO 1: DISEÑO DEL ESPESADOR PARA FANGOS MIXTOS.	20
4.1	Superficie y diámetro del espesador.	20
4.2	Caudal de fangos espesados y sobrenadante.	21
Capítulo 5.	CASO 2: DISEÑO DE LOS ESPESADORES PARA TRATAR LOS FANGOS POR SEPARADO.	23
5.1	Superficie y diámetro de los espesadores.	23
5.1.1	Espesador de gravedad.	23
5.1.2	Espesador de flotación.	25
5.2	Caudal de los fangos espesados y sobrenadantes.	26
Capítulo 6.	COSTES DE LA OBRA CIVIL Y LOS EQUIPOS.	28
6.1	Caso 1.	28
6.1.1	Obra civil.	28
6.1.2	Equipamiento mecánico del espesador.	31
6.1.3	Bombas.	34
6.2	Caso 2.	35
6.2.1	Obra civil.	35
6.2.2	Equipamiento mecánico de los espesadores.	42
6.2.3	Bombas.	43
6.2.4	Compresores para el espesador por flotación.	44
Capítulo 7.	MANTENIMIENTO, EXPLOTACIÓN Y CONSERVACIÓN.	48
7.1	Operaciones de explotación.	48
7.2	Operaciones de mantenimiento.	48
7.3	Operaciones de conservación.	49
7.3.1	Conservación de la línea de funcionamiento.	49

7.3.2	Conservación de los equipos de reserva.....	50
7.4	Costes de mantenimiento y conservación.....	50
7.4.1	Caso 1.	51
7.4.2	Caso 2.	52
Capítulo 8.	CONCLUSIONES.	53
Capítulo 9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXOS.....		56
ANEXO 1.	Fangos.....	57
ANEXO 2.	Boletín oficial del estado sobre la fase de hormigonado.	61
ANEXO 3.	Bombas.	64
ANEXO 4:	Plan de mantenimiento.....	77
ANEXO 5:	Manual de engrase de equipos.	80
PLANOS		81

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. ESQUEMA SIMPLE DE UN E.D.A.R.....	2
FIGURA 1.2. ESQUEMA DE LAS LÍNEAS DE AGUA Y FANGO.	2
FIGURA 2.1. ESQUEMA DE LAS ZONAS DEL ESPESADOR.	7
FIGURA 2.2. ESQUEMA DE UN ESPESADOR MECÁNICO: (A) PLANTA Y (B) SECCIÓN A-A.	9
FIGURA 2.3. ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE PRESURIZACIÓN.....	11
FIGURA 2.4. ESPESADOR POR FLOTACIÓN POR AIRE DISUELTO (DAF).....	11
FIGURA 2.5. ESQUEMA DE DISTINTOS SISTEMAS DE FLOTACIÓN POR AIRE PRESURIZADO.	12
FIGURA 2.6. ESPESADOR METÁLICO.....	13
FIGURA 2.7. FERRALLADO DE UN ESPESADOR.....	14
FIGURA 2.8. ENCOFRADO CIRCULAR.	15
FIGURA 2.9. INTERIOR DEL ESPESADOR.....	16
FIGURA 2.10. ESPESADOR PREFABRICADO.	16
FIGURA 5.1. ESPESADOR DE GRAVEDAD (IZQUIERDA) Y DE FLOTACIÓN (DERECHA).	23
FIGURA 6.1. GRUPO MOTRIZ	32
FIGURA 6.2. PASARELA CENTRAL	33
FIGURA 6.3. ESPESADOR DE GRAVEDAD CUBIERTO.	33
FIGURA 6.4. ESQUEMA DE UNA BOMBA DE EJE HELICOIDAL.	35
FIGURA 6.5. TANQUE DE ACUMULACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.	45
FIGURA 6.6. COMPRESOR LFX	47

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS FANGOS DE ENTRADA.	17
TABLA 3.2. CONDICIONES DE PARTIDA DEL FANGO PRIMARIO (ESPESAMIENTO POR GRAVEDAD).	18
TABLA 3.3. CONDICIONES DE PARTIDA DEL FANGO BIOLÓGICO (ESPESAMIENTO POR FLOTACIÓN).	18
TABLA 3.4. CONDICIONES DE PARTIDA DEL FANGO MIXTO (ESPESAMIENTO POR GRAVEDAD).	18
TABLA 6.1. DATOS TÉCNICOS DE LOS COMPRESORES DE LA GAMA LFX.	47
TABLA 8.1. COSTES EN LOS DOS CASOS EN ESTUDIO.	53
TABLA 0.1. MANUAL DE ENGRASE DE EQUIPOS.	80

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

1.1 Introducción.

El objetivo de una estación depuradora de aguas residuales urbanas (E.D.A.R.U.) es reducir la carga de contaminantes de los vertidos de aguas residuales y convertirlo en inocuo para el medio ambiente.

Las aguas residuales se pueden someter a diferentes niveles de tratamiento, dependiendo del grado de purificación que se quiera. Es tradicional hablar de tratamiento primario, secundario, etc., aunque muchas veces la separación entre ellos no es totalmente clara. Así se pueden distinguir:

- a) **Pretratamiento:** antes de su tratamiento, propiamente dicho, las aguas brutas se someten a un pretratamiento que comprende un cierto número de operaciones físicas o mecánicas. Tiene por objeto separar del agua la mayor cantidad posible de las materias, que por su naturaleza o tamaño, crearían problemas en los tratamientos posteriores.
- b) **Tratamiento primario:** se eliminan los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Los principales procesos físico-químicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son los siguientes: sedimentación, flotación y coagulación - floculación.
- c) **Tratamiento secundario:** serie de importantes procesos de naturaleza biológica de tratamiento de las aguas residuales que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto coloidal como disuelta, así como la eliminación.
- d) **Tratamiento terciario:** eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminantes no eliminadas en los tratamientos secundarios, como por ejemplo, los nutrientes, fósforo y nitrógeno.

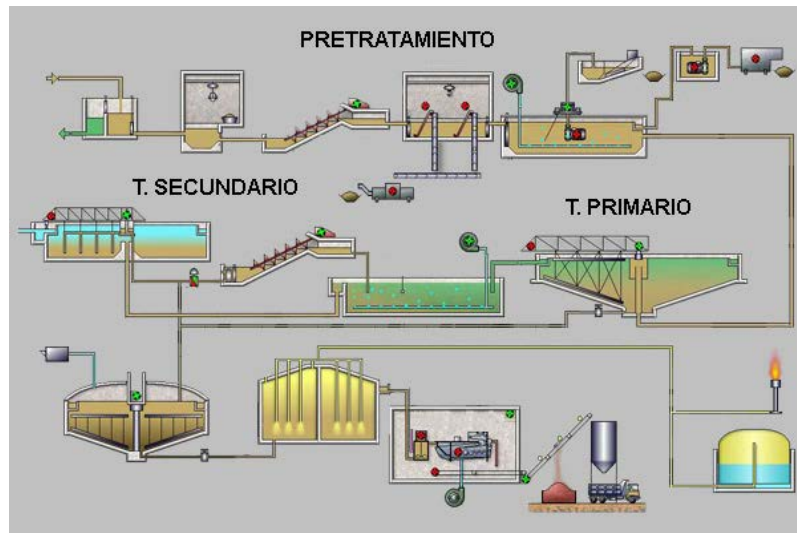


Figura 1.1. Esquema simple de un E.D.A.R.

Dentro de las estaciones depuradoras se suelen distinguir dos grandes líneas:

- **Línea de agua:** es el conjunto de los procesos (primarios, secundarios, etc.) que depuran el agua propiamente dicha. Comenzaría con el agua que entra a la depuradora y terminaría en el agua vertida al río o al mar.
- **Línea de fangos:** está formada por el conjunto de procesos a los que se somete a los fangos (lodos) que se han producido en la línea de agua. Estos fangos acabarán siendo incinerados, usados como abono o depositados en un vertedero.

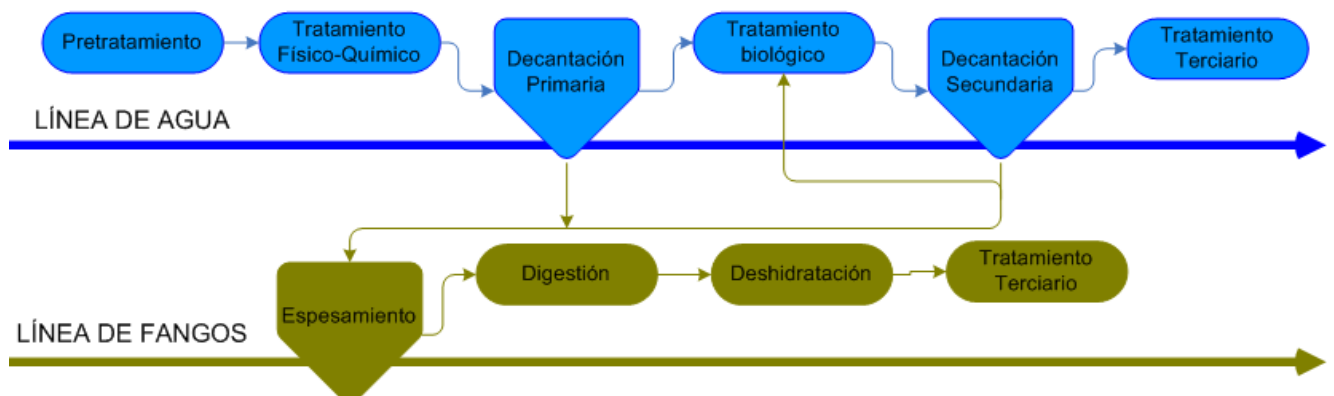


Figura 1.2. Esquema de las líneas de agua y fango.

En este proyecto nos centraremos en el proceso de espesamiento de los fangos de una E.D.A.R.U., donde compararemos la diferencia de espesar los fangos separados, es decir, los fangos procedentes del tratamiento primario y secundario por separado, o espesarlos juntos, es decir, los fangos mixtos.

1.2 Objetivos.

En este proyecto se pretende estudiar cuál de las dos formas propuestas para espesar los fangos, es decir, mediante un espesador de gravedad para fangos mixtos o un espesador de gravedad y uno de flotación para tratar los fangos primarios y secundarios por separado, es más rentable en una E.D.A.R.U. diseñada para 50.000 habitantes equivalentes.

Además se pretende dar una orientación hacia los costes que supondría el proceso de espesamiento dentro del coste total de una E.D.A.R.U.

1.3 Fases del desarrollo.

En este proyecto ha sido necesaria una fuerte labor de investigación de costes de la tecnología utilizada actualmente. A grandes rasgos los pasos seguidos han sido:

- 1) Búsqueda y recopilación de información relacionada con el espesamiento de aguas residuales, y todo lo posible referente a los espesadores de gravedad y flotación.
- 2) Una vez recopilada la información se procedió al dimensionamiento de los espesadores.
- 3) Con los cálculos de proceso se inicia una búsqueda de los equipos que se van a utilizar y los pasos en obra civil que se debían dar. Además se buscó el coste que esto supondría a la hora de construir los espesadores.
- 4) Por último se redactó y se analizaron los resultados obtenidos para de esta forma cumplir los objetivos con los que se partió al principio del proyecto.

1.4 Medios empleados.

Este proyecto se ha basado principalmente en la recopilación de información para conseguir diseñar y calcular los costes de dos casos por los cuales podríamos espesar los fangos en una E.D.A.R.U.

Los medios empleados más importantes han sido los libros a los que se hace referencia en la bibliografía, se ha utilizado Microsoft Excel para realizar unas hojas de cálculo para facilitar el cálculo de los parámetros de diseño y los datos de obra civil necesarios para calcular el coste.

Además un medio muy empleado ha sido internet, ya que a través de este se ha buscado gran cantidad de información y ha servido para ponerse en contacto con distintas empresas para poder informarnos de los costes de los equipos y de la obra civil.

1.5 Estructura de la memoria.

Esta memoria ha sido dividida en diferentes capítulos para tratar de facilitar la lectura y comprensión del lector. A continuación se ofrece un breve resumen de cada capítulo:

- **Capítulo 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.**

Contiene una breve presentación del proyecto, informado del entorno en el que se va a trabajar dentro de una estación depuradora de aguas residual, informando al lector de la motivación del proyecto, sus objetivos, su desarrollo y un esquema de la estructuración de la memoria.

- **Capítulo 2. TEORÍA DE ESPESADORES.**

Contiene las nociones básicas sobre el espesamiento de los fangos, además de una explicación sobre los dos tipos de espesadores utilizados, el de gravedad y flotación. Además se ha realizado una explicación sobre la obra civil para ayudar a comprender posteriormente los costes de construcción tenidos en cuenta posteriormente.

- **Capítulo 3. BASES DE PARTIDA Y CRITERIOS DE DISEÑO.**

En este capítulo se explican que criterios de diseño se han tomado para el diseño de los espesadores y las bases de partidas tomadas, en este caso, tomando como referente los 50.000 habitantes equivalentes. Es la base para el posterior diseño de las dimensiones de los espesadores.

- **Capítulo 4. CASO 1: DISEÑO DEL ESPESADOR PARA FANGOS MIXTOS.**

El contenido de este capítulo son los cálculos realizados a partir de los datos de partida para el diseño de las dimensiones del espesador de gravedad que espesará los fangos mixtos, además también se calculan los caudales de los fangos y líquido sobrenadante.

- **Capítulo 5. CASO 2: DISEÑO DE LOS ESPESADORES PARA TRATAR LOS FANGOS POR SEPARADO.**

Al igual que en capítulo 4, contiene los cálculos realizados para el dimensionamiento, en este caso, del espesador de gravedad y el espesador de flotación, además del cálculo de los caudales de los fangos y los líquidos sobrenadantes.

- **Capítulo 6. COSTES DE LA OBRA CIVIL Y LOS EQUIPOS.**

Durante este capítulo el lector puede informarse de los costes aproximados de obra civil, en equipos principales y equipos auxiliares, que supondría la construcción de los espesadores diseñados tanto para el caso 1 y el caso 2.

- **Capítulo 7. MANTENIMIENTO, EXPLOTACIÓN Y CONSERVACIÓN.**

Este capítulo contiene una breve explicación sobre la función de las operaciones de mantenimiento, explotación y conservación, sobre en qué consisten estas

operaciones. Además se aporta una visión sobre lo que repercuten estas operaciones en los costes.

- **Capítulo 8. CONCLUSIONES.**

Contiene las ideas finales que se obtienen a partir de todo el trabajo realizado anteriormente para poder concluir cuál de los dos casos es más apropiado en una situación determinada.

- **Capítulo 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

Este capítulo recoge todas las fuentes y referencias bibliográficas mediante las cuales se ha nutrido este proyecto.

- **ANEXOS.**

Este capítulo recoge los anexos incluidos en este proyecto.

- **PLANOS**

Este capítulo recoge unos diagramas de flujo muy completos sobre los procesos que se estudian en el proyecto.

Capítulo 2. TEORÍA DE ESPESADORES.

2.1 Generalidades.

Dentro de la línea de fangos el espesamiento es el proceso que tiene como objeto la reducción del volumen de los mismos mediante su concentración por eliminación parcial del agua que contienen.

El interés primordial de este proceso es incrementar la eficacia y economía de los procesos posteriores. Hay que tener en cuenta que con pequeños incrementos en la concentración de sólidos se consigue una reducción considerable de volumen, lo que se traduce en una reducción en los costes de inversión y explotación.

Los sistemas de espesamiento pueden ser por gravedad o flotación. Durante este proyecto se van a comparar dos formas de espesamiento. El primer caso que se estudiará es el espesamiento de los fangos mixtos mediante un espesador de gravedad, y en el segundo caso se estudiará el espesamiento usando un espesador de gravedad para los fangos primarios, y uno de flotación para los secundarios.

La reducción del volumen de fango resulta beneficiosa para los procesos de tratamiento subsiguientes tales como la digestión, deshidratación, secado y ubicación final, desde los siguientes puntos de vista: capacidad de tanques y equipos necesarios, cantidad de reactivos químicos usados para el acondicionamiento del fango, cantidad de calor suministrado para los digestores y cantidad de combustible auxiliar utilizado para el secado o incineración, o para ambos.

A la hora de proyectar las instalaciones para el espesado de fangos, es importante dotar a las instalaciones de capacidad suficiente para hacer frente a las demandas puntas, prevenir el desarrollo de condiciones sépticas y los problemas de olores asociados, durante el proceso de espesado.

Además, existe el espesamiento por centrifugación, alternativa válida para cualquier tipo de fango, aunque está más indicada para concentrar fangos muy hidrófilos (que difícilmente liberan el agua que contienen), de difícil compactación.

Desde un punto de vista técnico, el rendimiento del proceso de espesamiento se mide en función de:

- Concentración obtenida en el fango.
- Relación de extracción obtenida, es decir, cantidad de sólidos que se escapan con el sobrenadante en relación con los sólidos totales que se introducen en el sistema de espesamiento.

La localización del espesamiento dentro de la línea de tratamiento de fangos tiene gran importancia y depende de las siguientes variables:

- Características del fango a tratar, que a su vez depende de las características del agua residual y del tipo de tratamiento del que procede.
- Tipos de tratamientos que va a comprender la línea de fangos.

- Concentración deseada, que será función de las características de fangos y del tipo de espesamiento empleado. Estos dos factores se encuentran relacionados entre sí, ya que dadas unas características de fango existe un tipo de espesamiento óptimo.

2.2 Espesamiento por gravedad.

El espesamiento de fango por gravedad se lleva a cabo en un depósito en el que se retiene el fango el tiempo necesario para que aumente su concentración hasta el valor deseado o alcanzable. En este tipo de espesamiento se encuentra gobernado por la teoría de la sedimentación por zonas.

Se lleva a cabo en unos tanques similares a los utilizados para decantación, en el depósito principal del espesador de fangos se deposita el fango el cual es removido por unos brazos, los cuales tienen la función de remover el fango y rascar la superficie inclinada del depósito para evacuar los lodos hacia el pozo de recogida y evacuación, estos elementos quedan solidarios al eje central, el cual está en movimiento mediante el accionamiento de un motor-reductor.

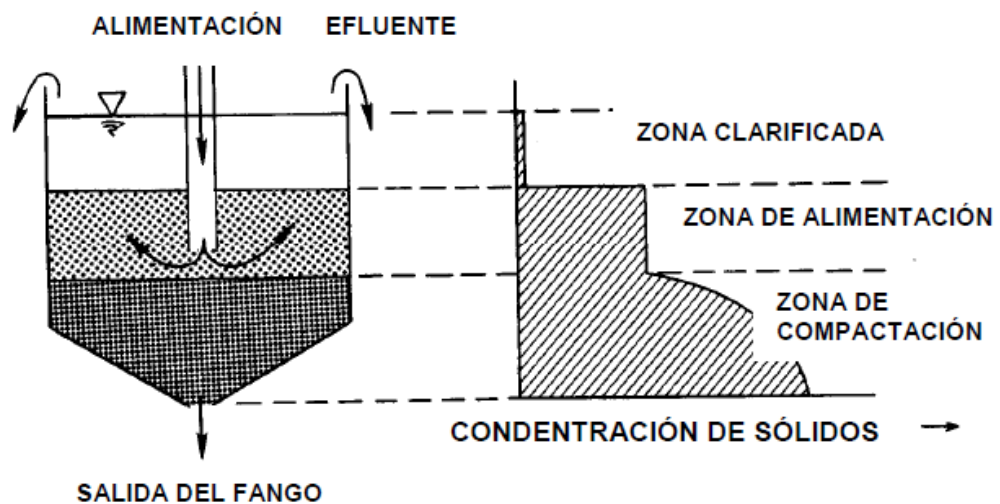


Figura 2.1. Esquema de las zonas del espesador.

Se distinguen tres zonas. En la parte superior aparece la que se podría llamar “zona clarificada”, la cual tiene una baja concentración de sólidos que se escapan con el líquido sobrenadante por el vertedero. La siguiente zona se conoce como “zona de alimentación” y se caracteriza por presentar una concentración uniforme de sólidos. Por último se encuentra la “zona de compactación” donde se produce un aumento en la concentración de sólidos hacia el punto de purga de los mismos.

El espesamiento se puede realizar por medio de la gravedad o mediante medios mecánicos que consiguen fuerzas de separación de varios cientos de veces la de la gravedad. Durante este proyecto no centraremos en el primer caso.

Este proceso se basa en la diferencia de densidad existente entre el agua y los sólidos en suspensión a espesar. Debe mantenerse esta diferencia durante todo el proceso ya que la concentración de los fangos puede variar debido a la fermentación de estos debido a un tiempo de permanencia demasiado largo en el espesador. La fermentación hace que los flóculos espesados se esponjen por atrapamiento de burbujas de gas producidas por el propio proceso fermentativo. Esto produce una disminución de densidad de los sólidos sedimentables y dificultan su separación.

Los espesadores de gravedad se emplean, principalmente, para el espesamiento de los fangos primarios, fangos físico-químicos y fangos mixtos y no suelen utilizarse para espesar fangos biológicos, principalmente los generados en procesos de fangos activados. Los fangos primarios y los procedentes de un tratamiento físico-químico espesan fácilmente por gravedad¹; sin embargo, la presencia de fangos biológicos dificulta el desarrollo del proceso ya que decantan lentamente y oponen gran resistencia a la compactación. Además, los fangos activos provocan problemas de estratificación, ya que tienen tendencia a flotar por el efecto del aire que se les ha suministrado y los gases producidos por la propia actividad biológica, quedando atrapados en los flóculos (fenómeno de foaming).

DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS:

Un espesador de gravedad es similar a un decantador. Generalmente son circulares y la alimentación se realiza por el eje central, el fango concentrado se purga del fondo y el sobrenadante se recoge a través de un vertedero perimetral.

La alimentación se realiza por tubería a una campana central que sirve de reparto y de zona de tranquilización. Dicha campana tiene que tener una altura tal que no perturbe la zona de compactación.

El fondo debe tener una pendiente mínima del 10%. En cualquier caso debe ser tal que permita la retención del fango suficiente para que este alcance una altura tal que evite problemas en el bombeo de los mismos.

¹ Esto es debido a su mayor densidad, típicamente entre 1,03 y 1,05 kg/L, frente a los del secundario que se encuentran entre 1,001 y 1,005 kg/L.

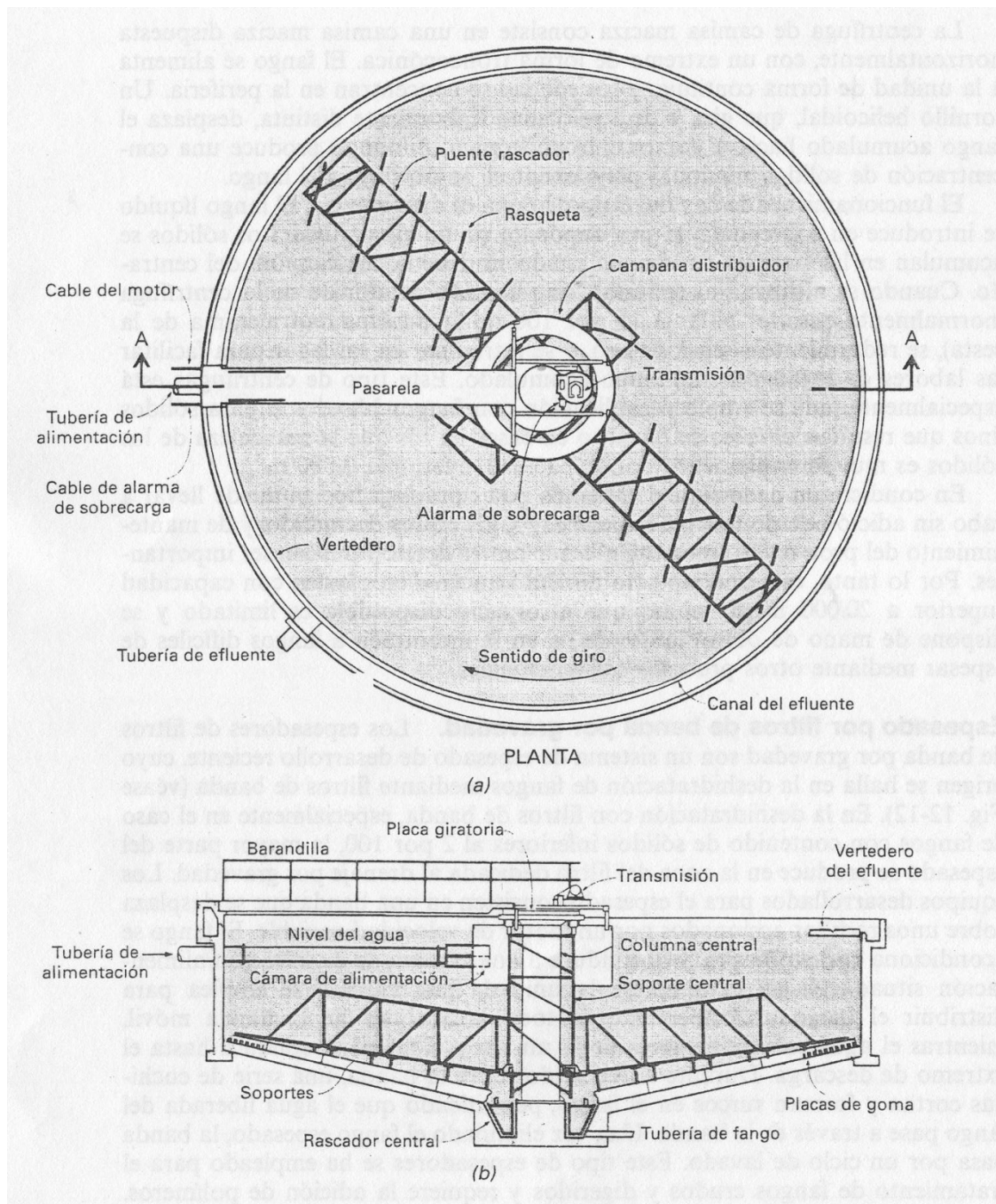


Figura 2.2. Esquema de un espesador mecánico: (a) planta y (b) sección A-A.

El conjunto va equipado con un mecanismo giratorio provisto de rasquetas de fondo cuyo objetivo es asegurar la recogida de fangos hacia la poceta central desde donde se extraen. Este mecanismo cuenta también con un conjunto de piquetas verticales, cuya función es homogeneizar la masa y facilitar que se desprenda el agua intersticial y los gases ocluidos en los fangos para favorecer la compactación.

Este mecanismo giratorio suele ser de accionamiento central con doble brazo diametral. Es aconsejable instalar un sistema automático de elevación de rasquetas, útil en la puesta en marcha del espesador y sobre todo después de paradas prolongadas. En el momento de la puesta en marcha si las rasquetas se encuentran elevadas, se evita la

resistencia inicial; una vez que el sistema ha alcanzado su velocidad nominal se pueden ir bajando las rasquetas. Si la puesta en marcha tiene lugar tras una parada prolongada, hay que tener en cuenta, además, que habrá sedimentos en el fondo que podrían haber aprisionado las rasquetas, dificultando su puesta en funcionamiento.

La extracción de los fangos desde la poceta central puede realizarse por gravedad mediante válvulas o por aspiración directa mediante bombas. Aunque se prevea una purga en continuo, el sistema debe tener la posibilidad de que se haga de forma temporizada, y a ser posible, que la extracción pueda realizarse a distintas alturas.

El sobrenadante clarificado se recoge por vertedero perimetral y se envía a la línea de agua.

En un espesador pueden darse malos olores, al darse procesos anaerobios de digestión de la materia orgánica que forma el flóculo y no tener el sistema aireación forzada, se consume el oxígeno disuelto en el agua, que no es repuesto a la misma velocidad por solubilización a través de la lámina de agua; esto provoca condiciones sépticas (anaerobias y la formación de compuestos volátiles (aminas, tiocompuestos, etc.) muchos de ellos malolientes e incluso tóxicos). Por ello es conveniente la cubrición del mismo. La cubierta debe ser estanca y preferiblemente desmontable. Las cubiertas de fábrica hacen más difícil el mantenimiento y reparación del mecanismo giratorio.

2.3 Espesamiento por flotación.

El espesamiento por flotación consiste en la concentración de fangos poco densos aprovechando burbujas de aire para arrastrarlos hasta la superficie. Está indicada su utilización para concentrar fangos de tipo biológico como los fangos en exceso de un sistema de lodos activos o fangos digeridos aeróbicamente.

El proceso del espesamiento por flotación se basa en adherir a unos flóculos biológicos, cuya densidad es muy parecida a la del agua, burbujas de aire de tamaño muy pequeño (10 a 100 micras). Esto hace que la densidad aparente del conjunto sea menor que la del agua y ascienda hasta la superficie.

Para crear las burbujas de aire se usa un sistema de presurización que pone en contacto en un depósito de agua y aire manteniendo una interfase entre ambos aproximadamente a media altura y un contacto lo más amplio posible, para ello se hace circular agua y aire en contracorriente alimentando el agua por arriba y el aire por abajo.

Usamos un sistema de presurización debido a la ley de Henry, que nos dice que la cantidad de gas disuelta en un líquido a una determinada temperatura es directamente proporcional a la presión parcial que ejerce ese gas sobre el líquido, es decir, que a cuanta mayor presión este el aire, mayor es la solubilidad.



Existen tres variantes básicas del proceso de espesado por flotación: flotación por aire disuelto (“dissolved air flotation” DAF), flotación al vacío y flotación por dispersión de aire. En este proyecto se usará el método de flotación por aire disuelto al ser el más empleado en la actualidad.



- Bomba de presurización.
- Depósito de presurización.
- Sistema de inyección de aire.
- Válvula reductora de presión.
- Tanque de flotación.
- Equipo de dosificación de polielectrolito.

El bombeo a presurización debe realizarse con un tipo de bomba cuya característica principal sea la uniformidad de presión en un amplio rango de caudales.

El depósito de presurización consta de un balón o depósito a presión donde se produce la disolución de aire comprimido en el líquido a presurizar. El objetivo es conseguir la concentración de aire más próxima a la de saturación, por lo que se necesita un diseño apropiado y un tiempo de retención mínimo para que se dé la mezcla.

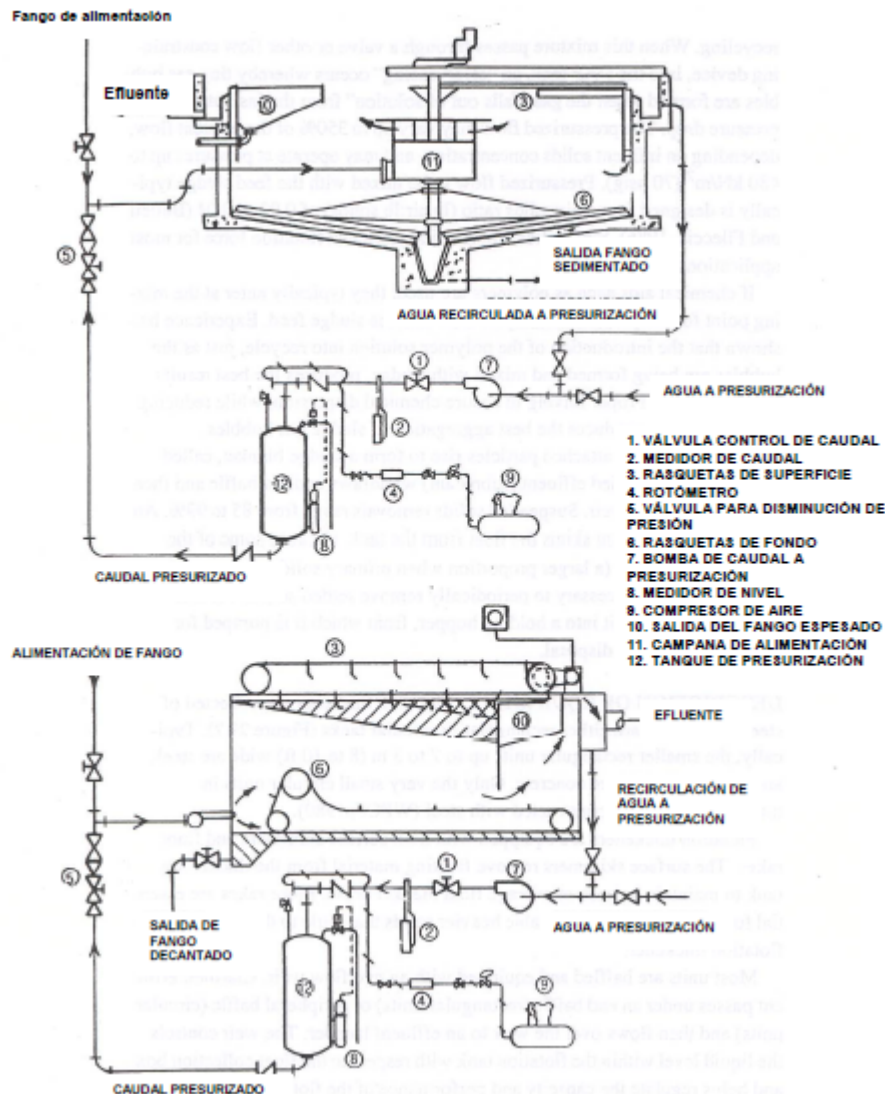


Figura 2.5. Esquema de distintos sistemas de flotación por aire presurizado.

El sistema de inyección de aire en el balón de presurización se regula mediante un presostato en un rango apropiado a la presión deseada en dicho balón.

Una vez obtenida una concentración de aire en el líquido a una presión determinada se introduce en el tanque de flotación. Para formar las microburbujas adecuadas y no crear turbulencias en el tanque, es necesario crear una pérdida de carga en la corriente de agua presurizada. Esta rotura de carga se realiza de distintas formas, pero generalmente es mediante válvulas.

El tanque de flotación puede ser rectangular o circular y estar construido de hormigón, resina de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) o acero (este último sólo en caso de plantas pequeñas). La mezcla entre el fango y el agua presurizada debe realizarse inmediatamente después de la rotura de carga y se alimentará al tanque por el punto más profundo para aumentar las oportunidades de contacto entre las partículas y las burbujas. En los tanques circulares la alimentación se realiza a través de una campana de reparto que tiene por objeto conseguir el máximo contacto partículas-aire y la tranquilización de la mezcla.

En los tanques circulares, los fangos flotados son empujados por rasquetas radiales hacia los skimmers o canales de recogida. Así mismo, van equipados con rasquetas de fondo que recogerán el fango que haya podido sedimentarse, llevándolo a una poceta para su extracción.

En los tanques rectangulares el fango es empujado por una serie de rascadores de superficie arrastrados por una cadena sinfín hacia un canal de evacuación dispuesto en uno de los extremos. Constan también de unas rasquetas de fondo que operan de forma similar a las superficiales.

La salida del líquido clarificado se realiza generalmente por vertedero.

Aunque en un principio no es necesario, puede añadirse polielectrolito para aumentar la eficacia del proceso. El uso de polielectrolito aumenta la carga de sólidos con la que puede ser alimentado el flotador, además de la concentración del fango espesado. Si se emplea polielectrolito, este debe ser introducido en el punto de mezcla del fango y el agua, aunque hay estudios que se aseguran que añadir polímero en el agua justo antes de que se formen las burbujas y se mezcle con el fango, da mejores resultados.

2.4 Construcción de los espesadores.

Las principales fases en las que se compone la construcción de un espesador son: excavación, ferrallado, encofrado y hormigonado. Se pueden construir espesadores de obra civil o metálicos. Los espesadores realizados con paneles de obra están disponibles con unos diámetros de entre 6 y 20 metros, mientras que los metálicos están disponibles con un diámetro de entre 5 y 10 metros. En este proyecto solo trataremos con espesadores de obra civil.



Figura 2.6. Espesador metálico

Antes de que se proceda a la excavación, el terreno debe ser limpiado, es decir, habrá que desarenizar el terreno de cualquier vegetación y/o maleza que se encuentre dentro del área de construcción, algunas veces será necesaria la tala de árboles y arbustos para que no sean un obstáculo para la excavación. Además se realizará una nivelación del terreno para trabajar sobre un plano horizontal y poder trabajar con la mayor eficiencia.

En las E.D.A.R se trabaja por gravedad, por lo que para realizar la construcción del espesador se suele realizar una fase de excavación para construirlo enterrado facilitando la introducción de los fangos en el espesador. Por tanto se realiza una excavación del terreno obteniendo grandes cantidades de tierra que pueden ser esparcidas por el terreno, utilizadas como relleno o pueden ser llevadas a un vertedero.

Tras realizar la excavación se realiza el ferrallado del espesador, es decir, construimos la armadura pasiva de acero para el hormigón. Esta fase es muy importante ya que proporcionará al hormigón las características mecánicas que requiere la obra. El ferrallado debe ser el justo, suficiente y racional, para alcanzar las propiedades requeridas pero no excedernos y poder proporcionar un coste excesivo sin necesidad.



Figura 2.7. Ferrallado de un espesador.

Tras la realización del ferrallado y antes de proceder con el encofrado, realizamos el hormigonado de la base del espesador. Cuando este hormigón termine de fraguar se puede proceder con el encofrado, que consiste en un sistema de moldes temporales o permanentes que se utilizan para dar forma al hormigón u otros materiales similares antes de fraguar. En nuestro caso serán moldes temporales de madera o metal.



Figura 2.8. Encofrado circular.

Tras la realización del encofrado solo nos faltaría el hormigonado, que consiste en verter el hormigón dentro del encofrado y dejar que fragüe. Se deberá proceder con cuidado en el vertido de hormigón para evitar disgregaciones de la mezcla. Una vez haya fraguado el hormigón se retiraría el encofrado, ya que en este caso se utilizarán moldes temporales.

Al verter el hormigón se debe realizar un vibrado correcto para evitar que aparezcan coqueas, además se han de tener en cuenta las velocidades del hormigonado para evitar presiones excesivas sobre los paneles de encofrado.

Dentro de un mismo espesor se usan gran variedad de hormigones en función de las propiedades requeridas. Existen hormigones de limpieza, para rellenos, de cimentaciones, de muros, de losas o de pilares/vigas. Además en función del tipo de agresividad química que ejerza el agua sobre el hormigón existen 3 variedades diferentes: Qa, Qb y Qc.

- Qa: ataque débil, donde el pH del agua estará entre 6.5 y 5.5.
- Qb: ataque medio, donde el pH del agua estará entre 5.5 y 4.5.
- Qc: ataque fuerte, donde el pH del agua será menor a 4.5.



Figura 2.9. Interior del espesador.

También se pueden construir los espesador prefabricados. Este tipo de espesadores tienen la ventaja de su rapidez de ejecución. Pueden resultar viables en espesadores pequeños donde haya que transportar una cantidad pequeña de paneles de hormigón. En nuestro proyecto no vamos a pensar en su utilización.



Figura 2.10. Espesador prefabricado.

Capítulo 3. BASES DE PARTIDA Y CRITERIOS DE DISEÑO.

Para poder realizar el dimensionamiento de los espesadores primero tengo que considerar que parámetros de partida se van a utilizar y que condiciones de diseño se van a considerar.

Lo primero será ver qué tipo de fangos tenemos a la entrada del espesamiento y de que están compuestos:

Tabla 3.1. Características principales físicas y químicas de los fangos de entrada.

Parámetro	Fangos primarios	Fangos biológicos
Sólidos secos (SS)	2-6%	0.5-2%
Sólidos volátiles (%SS)	60-80%	50-70%
PH	5.5-6.5	6.5-7.5
Densidad de los sólidos del fango (kg/L)	0.7	0.8
Tamaño de la partícula (µm)	<200	<100

Después de estos datos, nos centraremos en los datos de partida tanto de los fangos primarios como de los biológicos. Los cálculos que se realizan son para un E.D.A.R. que dará soporte a una población de 50.000 habitantes equivalentes.

Además de las condiciones de partida también se van a establecer los criterios de diseño. Los parámetros que habitualmente se tienen en cuenta en el diseño de un espesador son los siguientes:

- A) Carga de sólidos:** es el parámetro crítico en el diseño de un espesador. Se expresa en términos de peso de sólidos por unidad de superficie y unidad de tiempo, generalmente en Kg de SS/m²·d.
- B) Carga hidráulica:** este parámetro influye en la curva de sedimentación y en la cantidad de sólidos del sobrenadante. Hay que tener en cuenta que una alta carga hidráulica puede causar que escapen gran cantidad de sólidos en el sobrenadante y, por el contrario, una carga hidráulica excesivamente baja puede dar lugar a que se formen condiciones sépticas en el espesador, debido a un alto tiempo de retención de los fangos en el mismo.
- C) Tiempo de retención:** no es un parámetro significativo como tal, sino que está en relación con los demás. Es necesario contar con sistemas adecuados, como la adición de cloro, permanganato potásico o peróxido de hidrógeno, para controlar los problemas de olor y septicidad.

En las siguientes tablas se observa las bases de partida y condiciones de diseño que se han establecido para estudiar nuestros 2 casos:

Tabla 3.2. Condiciones de partida del fango primario (espesamiento por gravedad).

Condiciones de partida	Unidades	Valor
Caudal de los fangos primarios (Q_p)	m ³ /h	6.125
Sólidos contenidos en los fangos primarios (f_p)	Kg/d	2205
Concentración de los fangos primarios	Kg/m ³	15
Carga de sólidos	Kg de SS/m ² ·d	<130
Carga hidráulica	m ³ /m ² ·h	<1.40
Tiempo de retención (Tr)	h	>24
Concentración del fango espesado (Cf_{pe})	g/l	80-100

Tabla 3.3. Condiciones de partida del fango biológico (espesamiento por flotación).

Condiciones de partida	Unidades	Valor
Caudal de fangos biológicos (Q_b)	m ³ /h	8.41
Sólidos contenidos en los fangos biológicos (f_b)	Kg/d	1614
Concentración de los fangos biológicos	mg/l	8000
Carga de sólidos	Kg de SS/m ² ·h	2-5
Carga hidráulica	m ³ /m ² ·h	<2
Tiempo de retención (Tr)	h	2-6
Concentración del fango espesado (Cf_{be})	g/l	25-35

Tabla 3.4. Condiciones de partida del fango mixto (espesamiento por gravedad).

Condiciones de partida	Unidades	Valor
Caudal de los fangos mixtos (Q_m)	m ³ /h	14.531
Sólidos contenidos en los fangos mixtos (f_m)	Kg/d	3819
Concentración de los fangos mixtos	Kg/m ³	10.95
Carga de sólidos	Kg de SS/m ² ·d	<70
Carga hidráulica	m ³ /m ² ·h	<0.9
Tiempo de retención (Tr)	h	>24
Concentración del fango espesado (Cf_e)	g/l	40-70

Las condiciones de diseño para el espesador de flotación son sólo para fangos biológicos, es decir, activos, ya que para el resto de los casos (fangos primarios y mixtos) los fangos se espesan por gravedad y no por flotación.

Además se tendrán en cuenta las siguientes condiciones de diseño:

- Los espesadores se construyen de una altura útil comprendida entre los 2,50 y 3 metros, que suele resultar la más adecuada, tanto desde el punto de vista técnico como económico.
- Los diámetros de los espesadores suelen estar comprendidos de los 5 a los 20 metros. Los espesadores de diámetro inferior a los 5 metros generalmente son estáticos, con una inclinación del fondo entre 45° y 65°.
- Una molestia en el caso de espesadores por gravedad es la producción de malos olores, por lo cual es preciso cubrir el espesador para poder confinar los malos olores y captar el aire para su tratamiento.
- En cuanto a los materiales utilizados, en las unidades pequeñas se fabrican con mecanismos y virolas² de acero y fondo de hormigón. Los espesadores grandes se construyen con fondo de virola y puente de hormigón y mecanismos de acero. Solo en caso de aguas industriales corrosivas se consideran aceros inoxidable por su elevado precio.
- Los espesadores por gravedad son siempre de tipo circular y de tracción central. En cambio el espesamiento por flotación se puede llevar a cabo en equipos de planta rectangular, especialmente para caudales pequeños de tratamiento.

² **Virola:** Abrazadera de hierro u otro material empleado para sujetar, asegurar y mantener unidas las partes de una pieza o estructura.

Capítulo 4. CASO 1: DISEÑO DEL ESPESADOR PARA FANGOS MIXTOS.

Si se opta por tratar los fangos de manera conjunta, la tecnología que vamos a estudiar para su tratamiento es el espesamiento de los fangos mediante un espesador de gravedad. En este capítulo se estudiará el diseño de este espesador para poderlo comparar posteriormente con el caso 2 que se describirá en el capítulo 5.

4.1 Superficie y diámetro del espesador.

Para calcular la superficie y el diámetro del espesador nos regimos por las condiciones requeridas de la carga hidráulica o la carga de sólidos. Se puede escoger cualquiera de estas dos condiciones siendo más recomendable la carga de sólidos. Se usarán las dos para ver cómo afectan y para ver cuál de las dos es más restrictiva. La carga hidráulica influye sobre todo en la capacidad de sedimentación, formación y eliminación de sobrenadantes.

El tiempo de residencia es accesorio y está en función de la utilización secundaria del espesador como depósito de regulación de fangos, por ejemplo, durante el fin de semana.

Lo que se va a hacer es calcular el área teniendo en cuenta la carga hidráulica y la carga de sólidos, viendo cuál de los dos es más restrictivo. A partir de ahí se establecerá una profundidad útil y calcularemos las dimensiones del espesador.

➤ CARGA HIDRÁULICA (CH).

Según las condiciones de diseño se debe cumplir que la carga hidráulica sea menor de $0.45 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ⁽³⁾. Teniendo en cuenta las condiciones de partida expuestas en el apartado 2.4 y teniendo en cuenta el uso de una única unidad de espesamiento:

$$CH = \frac{Q_m}{S \cdot N^{\circ} \text{ de unidades en funcionamiento}} \leq 0.45 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

Por tanto podemos decir que:

$$S \geq \frac{Q_m}{CH \cdot N^{\circ} \text{ de unidades en funcionamiento}} = \frac{14.531 \text{ m}^3/\text{h}}{0.45 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}} = 32.29 \text{ m}^2$$

➤ CARGA DE SÓLIDOS (CS).

Primero establecemos que la carga de sólidos será menor de 70 kg de SS/ $\text{m}^2 \cdot \text{d}$. Con esto podemos calcular área del espesador basándonos en la condición de carga de sólidos:

³ Los valores de referencia que se han tomado (para todos los casos del proyecto), se han seleccionado a partir de las tablas 3.2, 3.3 y 3.4. Los valores han sido seleccionados intentando optimizar de forma realista cada caso.

$$CS = \frac{f_m}{S \cdot N^{\circ} \text{ de unidades en funcionamiento}} \leq 70 \text{ kg de SS/m}^2 \cdot d$$

$$S \geq \frac{f_m}{CS \cdot N^{\circ} \text{ de unidades en funcionamiento}} = \frac{3819 \text{ kg de SS/d}}{70 \text{ kg de SS/m}^2 \cdot d} = 54.56 \text{ m}^2$$

➤ **DIMENSIONES FINALES.**

Se puede observar como la condición de carga de sólidos es más restrictiva y nos define una superficie mínima de:

$$S \geq 54.56 \text{ m}^2$$

Al imponer la condición de que el tiempo de residencia sea de 24 horas, se obtiene un volumen mínimo tal que:

$$V = T_r \cdot Q_m = 24 \text{ h} \cdot 14.531 \text{ m}^3/\text{h} = 348.75 \text{ m}^3$$

Para cumplir las especificaciones dadas, se implantará un espesador de una profundidad cilíndrica útil de 3 metros y un diámetro de 12.5 metros. Dicho equipo nos aporta una superficie de 122.72 m² y un volumen útil de 368.155 m³, con lo cual se garantiza el cumplimiento de las condiciones de diseño.

4.2 Caudal de fangos espesados y sobrenadante.

Se establece que la concentración de salida de los fangos del espesador de gravedad será de 30 kg/m³. Con este dato podemos calcular el valor del caudal de los fangos espesados (Q_e):

$$f_e = Q_e \cdot Cf_e$$

f_e : masa diaria de fango espesado

Cf_e : concentración del fango espesado

Por tanto el caudal es:

$$Q_e = \frac{f_e}{Cf_e} = \frac{3819 \text{ kg de SS/d} \cdot 1\text{d}/24 \text{ h}}{30 \text{ kg/m}^3} = 5.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ahora calculamos el caudal de sobrenadante, es decir el caudal de líquido que hemos separado del fango y se hace recircular de nuevo a la línea de agua. Este caudal es transportado por gravedad hasta la cabecera de planta.

Este caudal se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{sob} = Q_m - Q_e$$

Q_{sob} : caudal de sobrenadante generado

$$Q_{sob} = 14.531 \text{ m}^3/h - 5.3 \text{ m}^3/h = 9.231 \text{ m}^3/h$$

Capítulo 5. CASO 2: DISEÑO DE LOS ESPESADORES PARA TRATAR LOS FANGOS POR SEPARADO.

Otra forma de realizar el espesado de los fangos es realizarlo de forma separada, es decir, tratar los fangos primarios en un espesador por gravedad y los fangos biológicos en un espesador por flotación.

En este apartado calcularemos las dimensiones de los espesadores para después poder comparar las diferencias del tratamiento usando un único espesador como en el apartado anterior o dos espesadores distintos.



Figura 5.1. Espesador de gravedad (izquierda) y de flotación (derecha).

5.1 Superficie y diámetro de los espesadores.

5.1.1 *Espesador de gravedad.*

En este caso usaremos un espesador por gravedad para tratar los fangos primarios, es decir, los fangos procedentes de la decantación primaria. Todos los cálculos que se realicen seguirán el mismo esquema que se utilizó para calcular las dimensiones del espesador por gravedad para los fangos mixtos.

➤ CARGA HIDRÁULICA (CH).

Escogemos la misma condición de diseño de carga hidráulica, es decir, $0.45 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$. En este caso los fangos de entrada al espesador serán solo los fangos primarios y teniendo en cuenta el uso de una única unidad de espesamiento por gravedad se puede continuar que:

$$CH = \frac{Q_p}{S \cdot N^{\circ} \text{ de unidades en funcionamiento}} \leq 0.45 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot h$$

Por tanto podemos decir que:

$$S \geq \frac{Q_p}{CH \cdot N^{\circ} \text{ de unidades en funcionamiento}} = \frac{6.125 \text{ m}^3/h}{0.45 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot h} = 13.61 \text{ m}^2$$

➤ **CARGA DE SÓLIDOS (CS).**

Ahora tenemos que escoger la siguiente condición de diseño, es decir la carga de sólidos. Como solo nos llegarán los fangos primarios, la carga de sólidos varía respecto a la utilizada anteriormente. En este caso se escoge una carga de sólidos de 100 kg de SS/ m²·d. Por tanto:

$$CS = \frac{f_p}{S \cdot N^{\circ} \text{ de unidades en funcionamiento}} \leq 100 \text{ kg de SS}/\text{m}^2 \cdot d$$

$$S \geq \frac{f_p}{CS \cdot N^{\circ} \text{ de unidades en funcionamiento}} = \frac{2205 \text{ kg de SS}/d}{100 \text{ kg de SS}/\text{m}^2 \cdot d} = 22.05 \text{ m}^2$$

➤ **DIMENSIONES FINALES.**

Observamos que en este caso la carga de sólidos es también la más restrictiva al igual que en el caso anterior y nos establece una superficie mínima tal que:

$$S \geq 22.05 \text{ m}^2$$

Ahora obtenemos un volumen mínimo teniendo en cuenta que el tiempo de residencia será de 24 horas:

$$V = T_r \cdot Q_p = 24 \text{ h} \cdot 6.125 \text{ m}^3/h = 147 \text{ m}^3$$

Por último toca definir una profundidad útil y un diámetro interno con los cuales consigamos cumplir las condiciones de diseño. En este caso se escogen una profundidad útil de 3 metros y un diámetro interno de 8.3 metros.

Con estos parámetros de diseño obtenemos un espesador por gravedad de una superficie de 54.106 m², que cumple ampliamente nuestra condición de diseño, y un volumen útil de 162.32 m³, con el cual satisfacemos la otra condición de diseño. Este sobredimensionamiento viene debido a la altura mínima del espesador (3 metros) y a la condición de tiempo de residencia, que hacen que se cumplan holgadamente las condiciones de carga de sólidos y la carga hidráulica.

5.1.2 *Espesador de flotación.*

El espesador por flotación se diseñará de la misma manera que se han realizado los dos espesadores por gravedad anteriores, atendiendo a las condiciones de diseño que se mostraron en el capítulo 3. A este espesador llegarán los fangos biológicos procedentes del tratamiento secundario de la E.D.A.R.

➤ CARGA HIDRÁULICA (CH).

Para este espesador se escoge como condición de carga hidráulica el valor de $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$. Este valor debe ser menor de 2, y con el valor escogido cumplimos dicha condición de diseño. Teniendo en cuenta el uso de una única unidad de espesamiento obtenemos que la superficie mínima para cumplir esta condición de diseño resulte ser:

$$CH = \frac{Q_b}{S \cdot N^\circ \text{ de unidades en funcionamiento}} \leq 0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

$$S \geq \frac{Q_b}{CH \cdot N^\circ \text{ de unidades en funcionamiento}} = \frac{8.41 \text{ m}^3/\text{h}}{0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}} = 16.82 \text{ m}^2$$

➤ CARGA DE SÓLIDOS (CS).

Para esta condición de diseño se ha escogido como valor de referencia $3 \text{ kg de SS}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$. En los espesadores por flotación esta condición de diseño es de gran importancia, y es capaz de admitir mayores cargas que los espesadores de gravedad. Por tanto la superficie mínima que nos impone esta condición de diseño es:

$$CS = \frac{f_b}{S \cdot N^\circ \text{ de unidades en funcionamiento}} \leq 3 \text{ kg de SS}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

$$S \geq \frac{f_b}{CS \cdot N^\circ \text{ de unidades en funcionamiento}} = \frac{1614 \text{ kg de SS}/\text{d} \cdot 1\text{d}/24 \text{ h}}{3 \text{ kg de SS}/\text{m}^2 \cdot \text{h}} = 22.42 \text{ m}^2$$

➤ DIMENSIONES FINALES.

La carga de sólidos es la más restrictiva dando como valor mínimo de la superficie del espesador un valor de:

$$S \geq 22.42 \text{ m}^2$$

Para los espesadores por flotación el tiempo de residencia es menor que para los espesadores de gravedad. En este caso se ha tomado 6 horas como valor del tiempo de residencia. Por tanto con este dato el volumen mínimo será:

$$V = T_r \cdot Q_b = 6 \text{ h} \cdot 8.41 \text{ m}^3/\text{h} = 50.46 \text{ m}^3$$

Tras estos cálculos nos queda por definir la profundidad útil del espesador y el diámetro interno. En este caso escogemos 2.5 metros para la profundidad, y un diámetro de 5.5 metros. Con estos parámetros de diseño se obtiene un espesador de superficie 23.76 m², mayor que el área mínima obtenida por las condiciones de diseño. Además el volumen útil es 59.4 m³, que satisface el volumen mínimo de forma amplia.

5.2 Caudal de los fangos espesados y sobrenadantes.

Se calcula el caudal de los fangos espesados en el espesador por gravedad teniendo en cuenta que se utilizara la condición de que la concentración de salida será de 50 kg/m³. Por tanto obtenemos que:

$$f_{pe} = Q_{pe} \cdot Cf_{pe}$$

f_{pe} : masa diaria de fango primario espesado

Cf_{pe} : concentración del fango primario espesado

Por tanto el caudal es:

$$Q_{pe} = \frac{f_{pe}}{Cf_{pe}} = \frac{2205 \text{ kg de SS/d} \cdot 1\text{d}/24 \text{ h}}{50 \text{ kg/m}^3} = 1.84 \text{ m}^3/\text{h}$$

Habiendo calculado el caudal de los fangos espesados, se puede hallar el caudal de sobrenadante generado en el espesador por gravedad:

$$Q_{sobp} = Q_p - Q_{pe}$$

Q_{sobp} : caudal de sobrenadante primario generado

$$Q_{sobp} = 6.125 \text{ m}^3/\text{h} - 1.84 \text{ m}^3/\text{h} = 4.285 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ahora realizamos los mismos cálculos pero para el espesador por flotación, donde se utilizara la condición de que la concentración de salida será de 30 kg/m³. Sabiendo esto podemos decir que:

$$f_{be} = Q_{be} \cdot Cf_{be}$$

f_{be} : masa diaria de fango biológico espesado

Cf_{be} : concentración del fango biológico espesado

Por tanto el caudal es:

$$Q_{be} = \frac{f_{be}}{Cf_{be}} = \frac{1614 \text{ kg de SS/d} \cdot 1\text{d}/24 \text{ h}}{30 \text{ kg/m}^3} = 2.242 \text{ m}^3/\text{h}$$

Realizamos los mismos cálculos que los realizados anteriormente para el cálculo de los fangos primarios para poder calcular el caudal sobrenadante de los fangos biológicos:

$$Q_{sobb} = Q_b - Q_{be}$$

Q_{sobb} : caudal de sobrenadante biológico generado

$$Q_{sobb} = 8.41 \text{ m}^3/\text{h} - 2.242 \text{ m}^3/\text{h} = 6.168 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por tanto el caudal de fangos espesados total y el caudal de sobrenadante será:

$$Q_e = Q_{pe} + Q_{be} = 1.84 \text{ m}^3/\text{h} + 2.242 \text{ m}^3/\text{h} = 4.072 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{sob} = Q_{sobp} + Q_{sobb} = 4.285 \text{ m}^3/\text{h} + 6.168 \text{ m}^3/\text{h} = 10.453 \text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal sobrenadante será el líquido que devolveremos al principio de la línea de agua, mientras que el caudal espesado será el que trataremos en el digestor anaerobio.

Capítulo 6. COSTES DE LA OBRA CIVIL Y LOS EQUIPOS.

Todos los costes que se calcularán y obtendrán a continuación son aproximaciones que nos darán una visión en conjunto del coste de cada caso para después sacar nuestras conclusiones finales.

6.1 Caso 1.

6.1.1 Obra civil.

En este apartado se calcularán los costes de la obra civil. Se va a realizar una primera aproximación a estos costes para conseguir una idea general de los costes de construcción de obra civil que supondría la realización del espesador de gravedad diseñado anteriormente.

➤ Excavación.

El primer coste a tener en cuenta es el coste de excavación. Sólo vamos a tener en cuenta los costes de excavación y no se entrará en los costes de transporte de las tierras al vertedero o a su esparcimiento por los terrenos próximos. El coste puede variar mucho en función de la situación donde se realice la excavación y la maquinaria disponible, en nuestro caso se ha decidido utilizar un precio medio que será de 2.7 euros por metro cúbico de tierra excavada.

Por tanto como primera aproximación al coste de excavación, calculando primero el volumen que se requiere excavar:

$$V_{exc} = S_{exc} \cdot h_{esp}$$

V_{exc} : Volumen de tierras a excavar.

S_{exc} : Superficie a excavar.

h_{esp} : Altura total del espesador, es decir, profundidad a excavar.

Para calcular la superficie a excavar se ha de tener en cuenta el espesor de los muros de hormigón, que serán de 0.3 metros, y una distancia para trabajar de un metro:

$$S_{exc} = \frac{(D_{esp} + 2 \cdot e_m + d_t)^2 \cdot \pi}{4}$$

D_{esp} : Diámetro interno del espesador.

e_m : Espesor del muro de hormigón.

d_t : Distancia de trabajo.

$$S_{exc} = \frac{(12.5m + 2 \cdot 0.3m + 2m)^2 \cdot \pi}{4} = 179.08 m^2$$

Para el cálculo de la altura a excavar hay q tener en cuenta una distancia de desbordamiento⁴ que hay que tener en cuenta, el cual en nuestro caso es 0.3 metros. Además

⁴ **Distancia de desbordamiento:** distancia de seguridad para evitar que los fangos desborden por los muros del espesador.

hemos de tener en cuenta el fondo del espesador el cual se diseña con una pendiente para favorecer la evacuación de los fangos. En este caso se ha decidido diseñarlo con una pendiente de 10%. Por último tenemos en cuenta el espesor de la base de hormigón que será de 0.3 metros. Por tanto podemos decir que:

$$h_{esp} = (p_{cu} + d_{des}) + \left(\frac{D_{esp}}{2}\right) \cdot \left(\frac{p_{esp}}{100}\right) + e_b$$

p_{cu} : Profundidad cilíndrica útil.

d_{des} : Distancia de desbordamiento.

p_{esp} : Pendiente de fondo del espesador (%).

e_b : Espesor de la base de hormigón.

$$h_{esp} = (3 \text{ m} + 0.3 \text{ m}) + \left(\frac{12.5 \text{ m}}{2}\right) \cdot \left(\frac{10}{100}\right) + 0.3 \text{ m} = 4.23 \text{ m}$$

Por tanto el volumen que se debe excavar es:

$$V_{exc} = S_{exc} \cdot h_{esp} = 179.08 \text{ m}^2 \cdot 4.23 \text{ m} = 756.61 \text{ m}^3$$

Y el coste de excavación es:

$$C_{texc} = V_{exc} \cdot c_{uexc}$$

C_{texc} : Coste total de la excavación.

c_{uexc} : Coste unitario de excavación.

$$C_{texc} = 756.61 \text{ m}^3 \cdot 2.7 \text{ €/m}^3 = 2042.84 \text{ €}$$

➤ **Encofrado.**

El encofrado se realizará tras el vertido del hormigón de la base. Se deben encofrar las paredes interior y exterior. El precio del encofrado varía en función de si se usan chapas de madera o metal, y de la localización u otros factores. Usamos un coste medio que será de 25 euros por metro cuadrado encofrado. Primero se calcula el área a encofrar:

$$S_{enc} = \pi \cdot D_{esp} \cdot (h_{esp} - e_b) + \pi \cdot (D_{esp} + 2 \cdot e_m)(h_{esp} - e_b)$$

S_{enc} : Superficie a encofrar.

$$S_{enc} = \pi \cdot 12.5 \text{ m} \cdot (4.23 \text{ m} - 0.3 \text{ m}) + \pi \cdot (12.5 \text{ m} + 2 \cdot 0.3 \text{ m})(4.23 \text{ m} - 0.3 \text{ m}) = 315.67 \text{ m}^2$$

Con esto ya somos capaces de calcular el coste del encofrado:

$$C_{tenc} = S_{enc} \cdot c_{uenc}$$

C_{tenc} : Coste total del encofrado.

c_{uenc} : Coste unitario del encofrado.

$$C_{tenc} = 315.67 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ €/m}^2 = 7891.7 \text{ €}$$

➤ **Hormigonado.**

Para el cálculo del coste de hormigonado primero vamos a calcular el volumen de hormigón a utilizar. Teniendo en cuenta la base y las paredes. En la base aparte del espesor de la base tendremos en cuenta un exceso que será el hormigón usado en la zapata que sirve para afianzar las paredes del espesador. Además se tendrá en cuenta el hormigón que se coloca en la pendiente del fondo del espesador. El cálculo del hormigón a utilizar es una aproximación en la que siempre se tenderá al alza para no quedarse sin hormigón al realizar el espesador.

$$V_{hor} = V_{horb} + V_{horp}$$

V_{hor} : Volumen de hormigón a utilizar.

V_{horb} : Volumen de hormigón en la base.

V_{horp} : Volumen de hormigón en las paredes.

$$V_{horb} = \frac{(D_{esp} + 2 \cdot e_m + d_z)^2 \cdot \pi}{4} \cdot (e_b + e_{pf})$$

d_z : Distancia o longitud de la zapata.

e_{pf} : Espesor equivalente de la pendiente para calcular el hormigón necesario.

$$V_{horb} = \frac{(12.5m + 2 \cdot 0.3m + 1m)^2 \cdot \pi}{4} \cdot (0.3m + 0.31m) = 95.25 \text{ m}^3$$

$$V_{horp} = \left(\frac{(D_{esp} + 2 \cdot e_m)^2 \cdot \pi}{4} - \frac{D_{esp}^2 \cdot \pi}{4} \right) \cdot (h_{esp} - e_b)$$

$$V_{horp} = \left(\frac{(12.5m + 2 \cdot 0.3m)^2 \cdot \pi}{4} - \frac{12.5m^2 \cdot \pi}{4} \right) \cdot (4.23m - 0.3m) = 47.35 \text{ m}^3$$

Por tanto el volumen que se requiere de hormigón como mínimo es:

$$V_{hor} = V_{horb} + V_{horp} = 95.25 \text{ m}^3 + 47.35 \text{ m}^3 = 142.6 \text{ m}^3$$

El coste unitario del hormigón es muy variable. Además en la construcción se usan distintos tipos de hormigón, con distintos costes. Para el cálculo del coste total se ha buscado una media de los costes de cada hormigón para aplicarlo al volumen calculado. En este caso el coste unitario escogido es de 87 euros por metro cúbico de hormigón.

$$C_{thor} = V_{hor} \cdot c_{uhor}$$

C_{thor} : Coste total del hormigonado.

c_{uhor} : Coste unitario del hormigonado.

$$C_{thor} = 142.6 \text{ m}^3 \cdot 87 \text{ €/m}^3 = 12406.1 \text{ €}$$

➤ **Armadura de acero.**

Para el cálculo de la cantidad de acero que habría que comprar para el hormigón armado, el principal factor que se debe tener en cuenta es el ratio de kilos de acero por metro cúbico de hormigón. En la diseño de espesadores un valor medio adecuado es el de 80 kilos de acero por metro cúbico de hormigón. Teniendo en cuenta que el precio en el mercado del acero es aproximadamente de 1.02 euros por kilogramo de acero, aunque este precio varía en función del mercado. Con esto podemos calcular el coste en acero:

$$P_a = V_{hor} \cdot r_{a-h}$$

P_a : Kilos de acero necesarios para el espesador.

r_{a-h} : Ratio kilos de acero por metro cúbico de hormigón.

$$P_a = 142.6 \text{ m}^3 \cdot 80 \text{ kg de acero} / \text{m}^3 = 11407.91 \text{ kg de acero}$$

$$C_{tac} = P_a \cdot c_{uac}$$

C_{tac} : Coste total del acero.

c_{uac} : Coste unitario del acero.

$$C_{tac} = 11407.91 \text{ kg de acero} \cdot 1.02 \text{ €/kg de acero} = 11636.07 \text{ €}$$

➤ **Coste total.**

Para finalizar con esta primera aproximación al coste de obra civil calculamos el coste total (C_t) de la obra civil que le corresponde al espesador de gravedad diseñado anteriormente:

$$C_t = C_{texc} + C_{tenc} + C_{thor} + C_{tac}$$

$$C_t = 2042.84 \text{ €} + 7891.7 \text{ €} + 12406.1 \text{ €} + 11636.07 \text{ €} = 33976.71 \text{ €}$$

6.1.2 Equipamiento mecánico del espesador.

Recordemos que para el primer caso, es decir, el espesamiento de fangos mixtos, se ha diseñado un espesador de gravedad de un diámetro de 12.5 metros y una profundidad útil de 3 metros.

En este apartado se van a tener en cuenta principalmente los costes más importantes en los equipos del espesador. Los principales costes que se van a tener en cuenta vienen de:

- **Grupo motriz:** Accionamiento central formado por un grupo motorreductor que ataca directamente al eje principal. Debe equiparse con un dispositivo limitador de par para protección contra posibles sobrecargas.



Figura 6.1. Grupo motriz

- **Eje vertical:** Construido en acero al carbono galvanizado u opcionalmente en acero inoxidable. Solidario al grupo motriz mediante unión embrizada. Transmite todo el esfuerzo al conjunto de rasquetas de fondo y piquetas de espesamiento.
- **Rasquetas de fondo:** Construidas en acero inoxidable, en su parte inferior lleva adosadas unas bandas de elastómero tipo epdm⁵ que efectúan el barrido de fondo. Forman un conjunto de arrastre tipo espina de pez.
- **Piquetas de espesamiento:** Montadas sobre los brazos portarasquetas y debidamente arriostradas. Construidas en perfiles de acero laminado.
- **Barredor de pozo de lodos:** Fijo en la parte inferior del eje vertical, sirve para limpieza del pozo de lodos y está construido en perfiles laminados en acero inoxidable.
- **Campana central de alimentación:** Construida en acero inoxidable. Se fija en la parte inferior de la pasarela metálica u obra civil, envolviendo al eje central. Su misión es estabilizar el flujo de entrada de fango.
- **Aliviadero perimetral:** Construido en aluminio o acero inoxidable. Se sitúa en la parte superior del canal periférico de recogida de aguas clarificadas.
- **Pasarela central:** Pasarela fija diametral, soporte de todo el conjunto espesador. Construida en perfiles de acero laminado en acero galvanizado con piso de tramex galvanizado y barandillas en acero inoxidable. Esta va apoyada en las paredes del recinto.

⁵ Polímero de comportamiento elástico formado por caucho etileno-propileno-dieno.



Figura 6.2. Pasarela central

En el caso de nuestro espesador este equipo puede suponer un coste de alrededor de los 17.000 euros por el suministro del equipo. Además del suministro se tiene que tener en cuenta el coste de montaje del equipo que podría suponer unos 2700 euros más⁶.

Además de los equipos se podría decidir cubrir el espesador mediante una cubierta para desorodizar los fangos. Instalar esta cubierta supondría un coste de alrededor de unos 22.500 euros aproximadamente. La cubierta será de PRFV (resina de poliéster reforzado con fibra de vidrio) y tendrá forma de gajos de naranja, como el que se puede observar en la imagen:



Figura 6.3. Espesador de gravedad cubierto.

Por tanto se pueden asumir como los costes de equipo un total final de 42.200 euros.

⁶ Todos los precios sobre los equipos mecánicos han sido obtenidos a partir de ofertas realizadas a la empresa Inima por la empresa PRAMAR.

6.1.3 Bombas.

El fango producido en las plantas de tratamiento de agua residual debe transportarse de un punto a otro de la planta en condiciones variables entre un fango líquido o espuma y un fango espeso. Cada tipo de fango puede requerir un tipo diferente de bomba.

Bombas antes del espesamiento:

En este caso los fangos primarios y secundarios son enviados a un mezclador en el cual se generan por agitación los fangos mixtos. Los fangos mixtos son llevados a una arqueta⁷ desde donde son bombeados y enviados a su espesamiento.

El tipo de bomba recomendado para impulsar el fango procedente de decantación son **bombas sumergibles**. Entre las características de este tipo de bombas tenemos:

- Amplios pasos efectivos de sólidos.
- La eliminación de cámaras secas anexas para el alojamiento de bombas convencionales.
- Facilidad de mantenimiento de la boca de succión debido al sistema de acoplamiento bomba – zócalo.
- Varios tipos de rodets y velocidades.

Al diseñar el sistema de bombeo tanto a la entrada como a la salida del espesador, se colocarán dos bombas, de la cual una de ellas es de apoyo. Para la búsqueda de la bomba adecuada para los fangos sin espesar hay que tener en cuenta que el caudal a bombear es de 14.53 m³/h.

La bomba por la que se va a optar es una bomba sumergible cuyo caudal unitario exigido es de 8 m³/h (⁸). Este tipo de bombas supone un precio unitario de 400 euros por bomba, a lo que hay que añadir un coste de 168 por bomba debido a la necesidad de comprar un pedestal donde situar la bomba.

Esto conlleva a un coste total en las bombas antes del espesamiento de 1136 euros.

Bombas después del espesamiento:

En el caso de fangos ya espesados el tipo de bombas recomendables son **Bombas de Husillo** o **eje helicoidal**. Éstas son bombas del tipo de desplazamiento positivo, con un rotor helicoidal de acero de alta calidad que gira dentro de un estator realizado en caucho. Estas bombas están especificadas para líquidos muy cargados, caudales bajos e importantes alturas manométricas. Disponen de un paso de sólido discreto y unos rendimientos bajos.

⁷ Una **arqueta** es un pequeño depósito utilizado para recibir, enlazar y distribuir canalizaciones o conductos subterráneos; suelen estar enterradas y tienen una tapa superior para evitar accidentes y poder limpiar su interior de impurezas.

⁸ Para más información sobre las bombas propuestas acudir al anexo donde aparecen las hojas de características de dichas bombas.

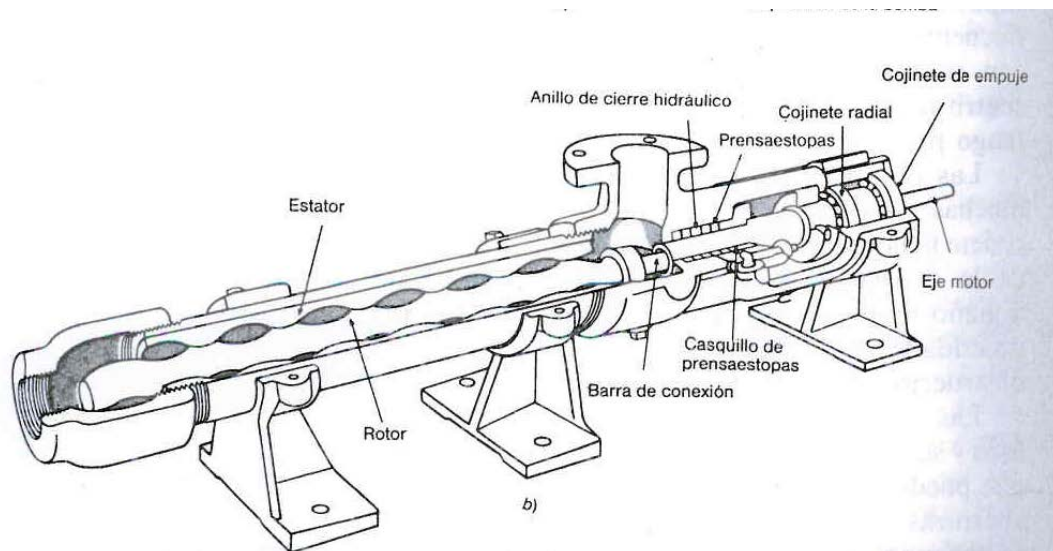


Figura 6.4. Esquema de una bomba de eje helicoidal.

A la hora de ubicar estas bombas en la parcela de la EDAR se debe considerar en primer lugar el punto en el que se generan los fluidos a bombear y las características de este fluido.

En el caso de los fangos espesados, estamos manejando una materia con una concentración del 4 – 7% en sólidos. En este caso lo más indicado son longitudes de impulsión reducidas (conviene colocar los equipos próximos) y el tipo de bombeo recomendado son las bombas de desplazamiento positivo que presentan buenas características.

En este caso se van a utilizar dos bombas de tornillo a la salida del espesador, una de ellas de reserva. Teniendo en cuenta que el caudal de salida calculado es de $5.3 \text{ m}^3/\text{h}$ se ha optado por una bomba de tornillo capaz de impulsar de 5 a $12 \text{ m}^3/\text{h}$.

El precio unitario de este tipo de bombas es de 485 euros, lo que supone un gasto en las bombas después del espesamiento de 970 euros.

Coste total en bombas:

Con esto se puede concluir que para el caso 1 se requieren cuatro bombas, dos sumergibles y dos de tornillo, que suponen un coste total de 2106 euros.

6.2 Caso 2.

6.2.1 Obra civil.

El siguiente paso que se va a realizar es calcular el coste de obra civil, que supondría la construcción de estos dos espesadores. Se ha de tener presente que estos costes se están calculando de una forma aproximada, ya que no se están teniendo todos los factores que habríamos considerar, pero para esta primera aproximación nos dará una idea. Para este caso se tendrán que calcular el coste de realizar dos espesadores diseñados anteriormente:

A) ESPESADOR DE GRAVEDAD.

➤ Excavación.

Vamos a calcular la aproximación de los costes de excavación para el espesador de gravedad. Se va a suponer que las tierras excavadas pueden ser esparcidas por el terreno con un coste despreciable. El precio medio que se utilizará será el mismo que el usado para espesador de fangos mixtos, es decir, 2.7 euros por metro cúbico de tierra excavada.

Se calcula primero el volumen que se va a excavar:

$$V_{excg} = S_{excg} \cdot h_{espg}$$

V_{excg} : Volumen de tierras a excavar del espesador de gravedad.

S_{excg} : Superficie a excavar del espesador de gravedad.

h_{espg} : Altura total del espesador de gravedad, es decir, profundidad a excavar.

Para calcular la superficie a excavar se ha de tener en cuenta el espesor de los muros de hormigón, que serán de 0.3 metros, y una distancia para trabajar de un metro:

$$S_{excg} = \frac{(D_{espg} + 2 \cdot e_m + d_t)^2 \cdot \pi}{4}$$

D_{espg} : Diámetro interno del espesador de gravedad.

e_m : Espesor del muro de hormigón.

d_t : Distancia de trabajo.

$$S_{excg} = \frac{(8.3m + 2 \cdot 0.3m + 2m)^2 \cdot \pi}{4} = 93.31 m^2$$

Como en el caso de fangos mixtos, en el cálculo de la altura a excavar hay que tener en cuenta la distancia de desbordamiento (0.3 m.) y la pendiente del fondo del espesador es de 10%. Con esto y haciendo una base de hormigón de 0.3 metros se puede calcular que:

$$h_{espg} = (p_{cug} + d_{des}) + \left(\frac{D_{espg}}{2}\right) \cdot \left(\frac{p_{esp}}{100}\right) + e_b$$

p_{cug} : Profundidad cilíndrica útil del espesador de gravedad.

d_{des} : Distancia de desbordamiento.

p_{esp} : Pendiente de fondo del espesador (%).

e_b : Espesor de la base de hormigón.

$$h_{espg} = (3 m + 0.3 m) + \left(\frac{8.3 m}{2}\right) \cdot \left(\frac{10}{100}\right) + 0.3 m = 4.015 m$$

Por tanto el volumen que se debe excavar es:

$$V_{excg} = S_{excg} \cdot h_{espg} = 93.31 m^2 \cdot 4.015 m = 374.65 m^3$$

Y el coste de excavación es:

$$C_{texcg} = V_{excg} \cdot c_{uexc}$$

C_{texcg} : Coste total de la excavación del espesador de gravedad.

c_{uexc} : Coste unitario de excavación.

$$C_{texcg} = 374.65 \text{ m}^3 \cdot 2.7 \text{ €/m}^3 = 1011.56 \text{ €}$$

➤ Encofrado.

Al igual que se hizo para el espesador de fangos mixtos se va a calcular el coste del encofrado de las paredes interior y exterior. Se realizará con chapas de madera y como coste medio se usará el mismo que en el caso anterior, es decir, 25 euros por metro cuadrado encofrado. El primer paso será calcular el área que se necesita encofrar:

$$S_{encg} = \pi \cdot D_{espg} \cdot (h_{espg} - e_b) + \pi \cdot (D_{espg} + 2 \cdot e_m)(h_{espg} - e_b)$$

S_{encg} : Superficie a encofrar del espesador de gravedad.

$$S_{encg} = \pi \cdot 8.3 \text{ m} \cdot (4.015 \text{ m} - 0.3 \text{ m}) + \pi \cdot (8.3 \text{ m} + 2 \cdot 0.3 \text{ m})(4.015 \text{ m} - 0.3 \text{ m}) = 200.74 \text{ m}^2$$

Con esto ya somos capaces de calcular el coste del encofrado:

$$C_{tencg} = S_{encg} \cdot c_{uenc}$$

C_{tencg} : Coste total del encofrado del espesador de gravedad.

c_{uenc} : Coste unitario del encofrado.

$$C_{tencg} = 200.74 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ €/m}^2 = 5018.55 \text{ €}$$

➤ Hormigonado.

Para el cálculo del coste de hormigonado se debe calcular el volumen de hormigón a utilizar. Se va a calcular de la misma manera que se realizó para el espesador de gravedad de fangos mixtos. Por tanto el volumen de hormigón será:

$$V_{horg} = V_{horbg} + V_{horpg}$$

V_{horg} : Volumen de hormigón a utilizar en el espesador de gravedad.

V_{horbg} : Volumen de hormigón en la base del espesador de gravedad.

V_{horpg} : Volumen de hormigón en las paredes del espesador de gravedad.

$$V_{horbg} = \frac{(D_{espg} + 2 \cdot e_m + d_z)^2 \cdot \pi}{4} \cdot (e_b + e_{pf})$$

d_z : Distancia o longitud de la zapata.

e_{pf} : Espesor equivalente de la pendiente para calcular el hormigón necesario.

$$V_{horbg} = \frac{(8.3m + 2 \cdot 0.3m + 1m)^2 \cdot \pi}{4} \cdot (0.3m + 0.21m) = 39.26 m^3$$

$$V_{horpg} = \left(\frac{(D_{esp} + 2 \cdot e_m)^2 \cdot \pi}{4} - \frac{D_{esp}^2 \cdot \pi}{4} \right) \cdot (h_{esp} - e_b)$$

$$V_{horpg} = \left(\frac{(8.3m + 2 \cdot 0.3m)^2 \cdot \pi}{4} - \frac{8.3m^2 \cdot \pi}{4} \right) \cdot (4.015m - 0.3m) = 30.11 m^3$$

Por tanto el volumen que se requiere de hormigón como mínimo es:

$$V_{horg} = V_{horbg} + V_{horpg} = 39.26 m^3 + 30.11 m^3 = 69.37 m^3$$

Como ya se comentó el precio del hormigón es muy variable en función de la geografía y del hormigón utilizado. Por tanto se usa un precio medio del hormigón que será el mismo que el utilizado para los fangos mixtos, es decir, 87 euros por metro cúbico de hormigón.

$$C_{thorg} = V_{horg} \cdot c_{uhor}$$

C_{thorg} : Coste total del hormigonado del espesador de gravedad.

c_{uhor} : Coste unitario del hormigonado.

$$C_{thorg} = 69.37 m^3 \cdot 87 \text{ €/m}^3 = 6035.15 \text{ €}$$

➤ Armadura de acero.

Se necesita comprar una cantidad de acero para poder construir la armadura de acero que servirá de soporte al hormigón. Se utilizará el mismo ratio de kilos de acero por metro cúbico de hormigón que en el caso anterior de fangos mixtos. Teniendo en cuenta que este ratio es de 80 kilos de acero por metro cúbico de hormigón y el precio del acero en el mercado es de aproximadamente de 1.02 euros por kilogramo de acero, podemos calcular el coste de acero:

$$P_{ag} = V_{horg} \cdot r_{a-h}$$

P_{ag} : Kilos de acero necesarios para el espesador de gravedad.

r_{a-h} : Ratio kilos de acero por metro cúbico de hormigón.

$$P_{ag} = 69.37 m^3 \cdot 80 \text{ kg de acero / m}^3 = 5549.57 \text{ kg de acero}$$

$$C_{tacg} = P_{ag} \cdot c_{uac}$$

C_{tacg} : Coste total del acero para el espesador de gravedad.

c_{uac} : Coste unitario del acero.

$$C_{tacg} = 5549.57 \text{ kg de acero} \cdot 1.02 \text{ €/kg de acero} = 5660.56 \text{ €}$$

➤ **Coste total.**

Para finalizar con esta primera aproximación al coste de obra civil calculamos el coste total del espesador de gravedad (C_{tg}) de la obra civil que le corresponde al espesador de gravedad diseñado anteriormente:

$$C_{tg} = C_{texcg} + C_{tencg} + C_{thorg} + C_{tacg}$$

$$C_t = 1011.56 \text{ €} + 5018.55 \text{ €} + 6035.15 \text{ €} + 5660.56 \text{ €} = 17725.82 \text{ €}$$

B) ESPESADOR DE FLOTACIÓN.

➤ **Excavación.**

Una vez calculados los costes de obra civil del espesador de gravedad, se va a realizar los mismos cálculos para el espesador de flotación. Se empezará por el cálculo de los costes de excavación donde se volverá a utilizar 2.7 euros por metro cúbico de tierra excavada como precio medio de excavación. Por tanto calculamos primero el volumen a excavar:

$$V_{excf} = S_{excf} \cdot h_{espf}$$

V_{excf} : Volumen de tierras a excavar del espesador de flotación.

S_{excf} : Superficie a excavar del espesador de flotación.

h_{espf} : Altura total del espesador de flotación, es decir, profundidad a excavar.

Para calcular la superficie a excavar se ha de tener en cuenta el espesor de los muros de hormigón, que serán de 0.3 metros, y una distancia para trabajar de un metro:

$$S_{excf} = \frac{(D_{espf} + 2 \cdot e_m + d_t)^2 \cdot \pi}{4}$$

D_{espf} : Diámetro interno del espesador de gravedad.

e_m : Espesor del muro de hormigón.

d_t : Distancia de trabajo.

$$S_{excf} = \frac{(5.5m + 2 \cdot 0.3m + 2m)^2 \cdot \pi}{4} = 51.53 \text{ m}^2$$

Para este tipo de espesador no hace falta construir el espesador con pendiente en el fondo ya que los fangos suben a la superficie, por tanto para el cálculo de la altura a excavar se tendrá en cuenta la distancia de desbordamiento y la base de hormigón, por tanto podemos calcular que:

$$h_{espf} = (p_{cuf} + d_{des}) + e_b$$

p_{cuf} : Profundidad cilíndrica útil del espesador de flotación.

d_{des} : Distancia de desbordamiento.

e_b : Espesor de la base de hormigón.

$$h_{espf} = (2.5 \text{ m} + 0.3 \text{ m}) + 0.3 \text{ m} = 3.1 \text{ m}$$

Por tanto el volumen que se debe excavar es:

$$V_{exc} = S_{exc} \cdot h_{espf} = 51.53 \text{ m}^2 \cdot 3.1 \text{ m} = 159.74 \text{ m}^3$$

Y el coste de excavación es:

$$C_{texc} = V_{exc} \cdot c_{uexc}$$

C_{texc} : Coste total de la excavación del espesador de flotación.

c_{uexc} : Coste unitario de excavación.

$$C_{texc} = 159.74 \text{ m}^3 \cdot 2.7 \text{ €/m}^3 = 431.31 \text{ €}$$

➤ **Encofrado.**

El encofrado en un espesador por flotación no varía del que se realizaría en uno por gravedad, por lo cual se calculará de la misma manera que se ha utilizado anteriormente. Seguiremos usando como coste medio los 25 euros por metro cuadrado encofrado. El primer paso será calcular el área que se necesita encofrar:

$$S_{encf} = \pi \cdot D_{espf} \cdot (h_{espf} - e_b) + \pi \cdot (D_{espf} + 2 \cdot e_m)(h_{espf} - e_b)$$

S_{encf} : Superficie a encofrar del espesador de flotación.

$$S_{encf} = \pi \cdot 5.5 \text{ m} \cdot (3.1 \text{ m} - 0.3 \text{ m}) + \pi \cdot (5.5 \text{ m} + 2 \cdot 0.3 \text{ m})(3.1 \text{ m} - 0.3 \text{ m}) = 102.04 \text{ m}^2$$

Con esto ya somos capaces de calcular el coste del encofrado:

$$C_{tencf} = S_{encf} \cdot c_{uenc}$$

C_{tencf} : Coste total del encofrado del espesador de flotación.

c_{uenc} : Coste unitario del encofrado.

$$C_{tencf} = 102.04 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ €/m}^2 = 2550.98 \text{ €}$$

➤ **Hormigonado.**

Como anteriormente, nos disponemos a calcular el volumen de hormigón que se necesita para el espesador de flotación. Antes de calcular el volumen hay que destacar que para este caso no se requiere la construcción de una pendiente en el fondo del espesador al retirarse los fangos por la parte superior, por tanto:

$$V_{horf} = V_{horbf} + V_{horpf}$$

V_{horf} : Volumen de hormigón a utilizar en el espesador de flotación.

V_{horbf} : Volumen de hormigón en la base del espesador de flotación.

V_{horpf} : Volumen de hormigón en las paredes del espesador de flotación.

$$V_{horbf} = \frac{(D_{espf} + 2 \cdot e_m + d_z)^2 \cdot \pi}{4} \cdot e_b$$

d_z : Distancia o longitud de la zapata.

$$V_{horbf} = \frac{(5.5m + 2 \cdot 0.3m + 1m)^2 \cdot \pi}{4} \cdot 0.3m = 11.88 m^3$$

$$V_{horpf} = \left(\frac{(D_{espf} + 2 \cdot e_m)^2 \cdot \pi}{4} - \frac{D_{espf}^2 \cdot \pi}{4} \right) \cdot (h_{espf} - e_b)$$

$$V_{horpf} = \left(\frac{(5.5m + 2 \cdot 0.3m)^2 \cdot \pi}{4} - \frac{5.5m^2 \cdot \pi}{4} \right) \cdot (3.1m - 0.3m) = 15.31 m^3$$

Por tanto el volumen que se requiere de hormigón como mínimo es:

$$V_{horf} = V_{horbf} + V_{horpf} = 11.88m^3 + 15.31 m^3 = 27.19 m^3$$

Se seguirá utilizando como precio medio del hormigón los 87 euros por metro cúbico de hormigón, por tanto:

$$C_{thorf} = V_{horf} \cdot c_{uhor}$$

C_{thorf} : Coste total del hormigonado del espesador de flotación.

c_{uhor} : Coste unitario del hormigonado.

$$C_{thorf} = 27.19 m^3 \cdot 87 \text{ €/m}^3 = 2364.96 \text{ €}$$

➤ **Armadura de acero.**

Por último se calcularán los kilos de acero necesarios con el mismo ratio de kilos de acero por metro cúbico de hormigón que en el caso anterior, es decir, 80 kilos de acero por metro cúbico de hormigón y el mismo precio de mercado, 1.02 euros por kilogramo de acero. Por tanto calculamos que:

$$P_{af} = V_{horf} \cdot r_{a-h}$$

P_{af} : Kilos de acero necesarios para el espesador de flotación.

r_{a-h} : Ratio kilos de acero por metro cúbico de hormigón.

$$P_{af} = 27.19 m^3 \cdot 80 \text{ kg de acero / m}^3 = 2174.68 \text{ kg de acero}$$

$$C_{taf} = P_{af} \cdot c_{uac}$$

C_{taf} : Coste total del acero para el espesador de flotación.

c_{uac} : Coste unitario del acero.

$$C_{tacf} = 2174.68 \text{ kg de acero} \cdot 1.02 \text{ €/kg de acero} = 2218.17 \text{ €}$$

➤ **Coste total.**

Para finalizar con esta primera aproximación al coste de obra civil calculamos el coste total del espesador de flotación (C_{tf}) de la obra civil que le corresponde al espesador de flotación diseñado anteriormente:

$$C_{tf} = C_{texcf} + C_{tencf} + C_{thorf} + C_{tacf}$$

$$C_{tf} = 431.31 \text{ €} + 2550.98 \text{ €} + 2364.96 \text{ €} + 2218.17 \text{ €} = 7565.42 \text{ €}$$

C) COSTE FINAL.

El coste final de obra civil en este caso será la suma de la construcción de ambos espesadores, el de gravedad y el de flotación. Por ello el coste final (C_t) ser:

$$C_t = C_{tg} + C_{tf}$$

$$C_t = 17725.82 \text{ €} + 7565.42 \text{ €} = 25291.24 \text{ €}$$

6.2.2 Equipamiento mecánico de los espesadores.

A) ESPESADOR DE GRAVEDAD.

Para el caso 2, es decir, el espesamiento de los fangos por separado, se ha diseñado un espesador de gravedad de diámetro 8.3 metros y una profundidad útil de 3 metros.

Los equipos que se instalarán serán los mismos que en el caso 1, por tanto la oferta por los equipos de este espesador serán bastante parejos que en el caso anterior.

En este caso el suministro de los equipos supone un coste de alrededor de unos 15.000 euros, además se le debe sumar un coste de montaje de aproximadamente 2.400 euros.

Si, como en el caso anterior, se decidiera por la desodorización de los fangos supondría la construcción de una cúpula de cubrición que supondría un coste de 20.000 euros aproximadamente.

Por tanto, el coste final de los equipos para el espesador de gravedad sería de 37.400 euros.

B) ESPESADOR DE FLOTACIÓN.

El espesador de flotación diseñado en este caso tiene unas dimensiones de 5.5 metros de diámetro y una profundidad útil de 2.5 metros. El equipo usado en un espesador de flotación es parecido al usado en uno de gravedad con ciertas diferencias como el sistema de presurización para facilitar la flotación, el deflector de flotantes, el vertedero periférico, etc...

Esto hace que el coste de los equipos para un espesador de este tipo sea mayor que para un espesador de gravedad. Para nuestro caso el coste del suministro de los equipos suponen alrededor de los 35.000 euros. Además hay que sumarles el coste de montaje que le añade un coste de 5000 euros aproximadamente.

Además de estos costes si se quiere desodorizar estos fangos mediante una cúpula de cubrición supondría un sobre coste de aproximadamente 12.000 euros más.

Por tanto coste final de los equipos para el espesador de flotación sumarían un total de 52.000 euros.

C) COSTE FINAL DE LOS EQUIPOS.

Por tanto una vez obtenidos los costes de ambos espesadores, se tiene que el desembolso en equipos en el caso 2 supone en total 89.400 euros, una cifra muy superior al desembolso que se realizaría al optar por el caso 1.

6.2.3 *Bombas.*

Para el caso 2, muchas de las cosas mencionadas anteriormente para el sistema de bombeo del caso 1 van a seguir siendo válidas.

Bombas antes del espesamiento:

Los fangos primario y secundarios (previo espesamiento), son fluidos con una concentración media de 0.8 – 1.5 %. El líquido a impulsar no es problemático y unas bombas de amplio paso como es el caso de las bombas sumergibles dan un buen resultado. Las distancias de impulsión tampoco resultan problemáticas. El criterio seguido a la hora de ubicar estas bombas en la planta es por cercanía a su origen, esto es, en unas arquetas próximas a los decantadores primarios y secundarios.

Se situaran 4 bombas sumergibles, dos bombas sumergibles en la arqueta del decantador primario, y otras dos bombas en la arqueta del decantador secundario. Los caudales a impulsar son: 6.125 m³/h para los fangos primarios y 8.4 m³/h para los fangos secundarios.

Se ha optado por la compra de 4 bombas sumergibles iguales cuyo caudal unitario exigido es de 5 m³/h. El precio unitario de estas bombas es de 875 euros, además hay que incluirles el coste del pedestal donde se situaran dichas bombas, que supone un incremento de 241.5 euros por bomba.

Esto supone un coste en las bombas antes del espesamiento de 4466 euros.

Bombas después del espesamiento:

Después del espesamiento se colocarán otras tres bombas, en este caso serán bombas de eje helicoidal. Se ha optado por estas bombas debido a los caudales de salida de los espesadores, los cuales son $1.84 \text{ m}^3/\text{h}$ a la salida del espesador de gravedad y $2.24 \text{ m}^3/\text{h}$ a la salida del espesador de flotación.

Se ha optado por 3 bombas ya que se va a utilizar la misma bomba de respaldo para ambos espesadores. Se ha optado por una bomba helicoidal de caudal variable entre 1.5 y $7 \text{ m}^3/\text{h}$. El precio unitario de este tipo de bombas es de 735 euros.

Por tanto el coste de las bombas después del espesamiento será de 2205 euros.

Coste total en bombas:

El coste total en bombas para el caso 2 será de 6671 euros, debido a la compra de 4 bombas sumergibles y 3 bombas de eje helicoidal.

6.2.4 Compresores para el espesador por flotación.

El espesamiento por flotación se lleva a cabo a partir de burbujas de aire que arrastran a los fangos poco densos hacia la superficie. Para poder generar estas burbujas de aire es necesaria la utilización de compresores de aire.

En el diseño de los compresores es necesario conocer múltiples datos de la instalación con el fin de poder dimensionar el equipo necesario que utilizaremos. Para nuestra instalación los datos que se requerirán son:

- Caudal unitario, es decir, el aire entregado al espesador.
- Presión de descarga del aire en el espesador.
- Volumen del calderín de acumulación.

El calderín de acumulación (o tanque pulmón) es un tanque de aire comprimido, este reduce en gran medida las pulsaciones en la demanda de aire comprimido y separa parte del condensado presente en el sistema neumático. Este calderín debe ser del tamaño preciso con el fin de cumplir la misión para la que está diseñado.



Figura 6.5. Tanque de acumulación de aire comprimido.

Una vez conocidos dichos datos podemos proceder al dimensionamiento del compresor de aire. Lo primero que debemos decidir es el tipo de compresor que deseamos instalar:

❖ *Compresor de tornillo:*

- Los compresores de tornillo son adecuados para situaciones donde el consumo de aire sea continuo y sin grandes picos de consumo.
- Alto rendimiento energético para un uso continuo.
- Flujo de aire sin pulsaciones.
- Los compresores de tornillo operan de forma económica para presiones de entre 5 y 14bar.

❖ *Compresores de pistones:*

- Los compresores de pistones son adecuados para requerimientos de aire intermitentes con grandes picos de consumo. Pueden ser usados como compresores de apoyo y son la mejor opción para flujos muy cambiantes.
- Alto rendimiento en flujos muy cambiantes.
- Los compresores de pistones pueden llegar a presiones muy elevadas, desde 8 a 35bar.

Después de todos los cálculos y tomada la decisión de que compresor utilizaremos buscaremos un presupuesto para saber el coste que supondría estos compresores si se escogiera utilizar un espesador por flotación.

➤ **DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO.**

Primero vamos a calcular los parámetros para poder realizar la elección del compresor. Para ello lo primero que hemos de calcular es la necesidad de aire de presurización del espesador por flotación, es decir, el caudal mínimo de aire recomendable para el compresor que suministra aire al calderín de presurización:

$$\begin{aligned} \text{Necesidad de aire para presurización} &= \frac{f_b \cdot 0.015}{1.202} \cdot 4 = \\ &= \frac{1614 \text{ kg de SS} \cdot 1 \text{ d}/24 \text{ h} \cdot 0.015}{1.202 \text{ kg de SS}/\text{m}^3} \cdot 4 = 3.357 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

Este sería el caudal de aire necesario. Como factor de seguridad vamos a diseñar un sistema con dos compresores con las siguientes características. Para empezar el caudal unitario de cada compresor será el doble de la necesidad de aire, por tanto:

$$Q_a = \text{Necesidad de aire para presurización} \cdot 2 = 3.357 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 2 = 6.714 \text{ m}^3/\text{h}$$

Q_a : Caudal unitario de aire

Antes de avanzar cambiamos las unidades del caudal a l/min, muy utilizadas en los catálogos de compresores.

$$Q_a = 6.714 \text{ m}^3/\text{h} = 6.714 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1\text{h}}{60\text{min}} = 111.9 \text{ l/min}$$

Lo siguiente que se decidirá será el valor de la presión de descarga. Para este tipo de espesadores con compresores que sean capaces de aportar más de 6 bares se tendrá suficiente. Como valor usado en el diseño se dirá que los compresores descargan a 65 m.c.a (metros de columna de agua), o lo que es lo mismo, 6.37 bares. Esta presión será nuestra presión de operación.

Por último se ha de calcular el volumen del calderín de acumulación teniendo en cuenta los parámetros ya calculados:

$$\text{Volumen calderín acumulación} = \frac{\frac{\text{Necesidades de aire}}{\text{Presión de operación}}}{6} = \frac{\frac{6.714\text{m}^3/\text{h}}{65 \text{ m.c.a./10}}}{6} = 0.086 \text{ m}^3 = 86 \text{ l}$$

Ya tenemos los datos con los cuales entraremos en las distintas hojas de características de los compresores para seleccionar el que más nos convenga. Antes de ello se ha de decidir si se usará un compresor de tornillo o de pistón.

Anteriormente se definieron las características de los dos tipos de compresores. En este caso se van a utilizar compresores de pistón, ya que son compresores más adecuados para requerimientos de aire intermitentes. En el espesador no tendremos caudales continuos y se pueden producir picos, por lo que el compresor ha de ser capaz de adaptarse a las variaciones que se produzcan.

➤ **ELECCIÓN Y COSTE DEL EQUIPO.**

Para la elección del compresor que se empleara para la inyección de aire en el espesador de flotación comparamos las características obtenidas anteriormente con las que nos pueden ofrecer los distintos compresores de los fabricantes.

En este caso hemos buscado los datos en la empresa fabricante Atlas Copco. Dentro de las distintas gamas de compresores fabricados por Atlas nos hemos fijado en la gama LFX que son los que mejor cubren las necesidades de compresión.

La gama LFX de compresores de pistón exentos de aceite Atlas Copco está formada por compresores de pequeña capacidad, de alto rendimiento y con una larga vida útil, que suministran aire 100% exento de aceite. La gran ventaja de este compresor es su funcionamiento con las mínimas necesidades de mantenimiento.



Figura 6.6. Compresor LFX

Dentro de esta gama existen distintos compresores cuyas características varían. Viendo las distintas aportaciones que nos darían los distintos compresores LFX hemos de elegir el que mejor nos convenga.

Tabla 6.1. Datos técnicos de los compresores de la gama LFX.

Tipo de compresor	Aire libre suministrado a presión normal de trabajo y 1500 r.p.m. (l/s)	Aire libre suministrado a presión normal de trabajo y 1800 r.p.m. (l/s)	Presión máxima de trabajo (bar)	Potencia instalada recomendada (kW)	Nivel sonoro (dB(A))
LFX-0.7	1.02	1.35	10	0.55	62
LFX-1.0	1.38	1.46	10	0.75	62
LFX-1.5	2.07	2.39	10	1.10	64
LFX-2.0	2.53	3.20	10	1.50	64

El aire libre suministrado que hemos de cubrir, y anteriormente fue calculado, es de 111.9 l/min, es decir, 1.86 l/s. Con esto descartamos los compresores LFX-0.7 y LFX-1.0, ya que no son capaces de cubrir la necesidad de aire libre que se ha de suministrar.

El requerimiento de presión de descarga mínimo es de 6.37 bares. Estos compresores son capaces de soplar aire a 10 bares por lo cual cumple con dicha especificación. Por último debe tener un calderín de una capacidad de 86 litros como mínimo. Esta gama de compresores puede ser montada sobre un depósito de aire con una capacidad de 50 a 90 litros.

Visto esto podríamos escoger comprar dos compresores LFX-1.5 con depósitos de aire de 90 litros. Este equipo implica un coste de 1970 euros por compresores. Por tanto, el coste que supone la compra de ambos compresores es de 3940 euros.

Capítulo 7. MANTENIMIENTO, EXPLOTACIÓN Y CONSERVACIÓN.

Una vez finalizada la instalación, entraremos en la fase en la cual habrá que tener en cuenta las operaciones de explotación, mantenimiento y conservación. Para un correcto funcionamiento de las instalaciones se deben tener en cuenta estas operaciones y el coste que supondrían. Estas operaciones se realizan para toda la línea de agua y fango, aunque los costes que se tomarán posteriormente serán los referidos al espesamiento de fangos.

7.1 Operaciones de explotación.

La óptima, correcta e ininterrumpida explotación de una estación de tratamiento de aguas residuales resulta de la yuxtaposición de varios factores:

1. Conocer exactamente las características del agua aportada en cada una de las fases del tratamiento.
2. Conocer los parámetros que definen el proceso en sus diferentes fases.
3. Modificar los parámetros de forma que en cada momento, se consiga la mejor calidad de agua tratada con un mayor rendimiento.
4. Que los elementos integrantes de cada una de las fases del tratamiento cumplan en cada momento el programa establecido de acuerdo a las características del agua y parámetros del proceso.

Los tres primeros puntos se cumplimentan, mediante el establecimiento de las OPERACIONES DE CONTROL DEL PROCESO. En cuanto al último se cumplimenta con el establecimiento de las OPERACIONES DE CONTROL DE PLANTA.

El conjunto de ambos controles constituyen las OPERACIONES de explotación.

7.2 Operaciones de mantenimiento.

Los objetivos que se persiguen con las operaciones de mantenimiento son los siguientes:

- ✓ Limitar el envejecimiento del material debido a su funcionamiento.
- ✓ Mejorar el estado del material, para su eficaz funcionamiento.
- ✓ Intervenir antes de que el coste de la reparación sea demasiado elevado.
- ✓ Eliminar o limitar los riesgos de averías en el material imprescindible para el proceso.
- ✓ Asegurar el buen estado de los servicios generales del agua, electricidad, calefacción, etc.
- ✓ Asesorar las decisiones para la determinación y gestión de repuestos y política de inversiones.
- ✓ Disminuir el tiempo de parada por averías.
- ✓ Estandarizar al máximo todos los elementos.
- ✓ Asegurar una disminución de los costes.
- ✓ Permitir la ejecución de las reparaciones en las mejores condiciones.

- ✓ Regularizar los trabajos de mantenimiento.
- ✓ Evitar los consumos exagerados.
- ✓ Suprimir las causas de accidentes graves.

Las operaciones más relevantes en el mantenimiento de las instalaciones son:

- a) **Engrase:** Estandarización de todos los aceites y grasas a utilizar.
- b) **Programa de operaciones e inspecciones:** establece de acuerdo a la experiencia adquirida en otras instalaciones similares. No obstante, este programa será ampliado de acuerdo a las necesidades reales que se detecten, a lo largo del funcionamiento.
- c) **Función de mantenimiento del operador de planta:** El papel preventivo del operador de planta, es muy importante. Al estar en contacto continuo con las máquinas que le son encomendadas, le es fácil señalar las anomalías que observa personalmente, así como todas las indicaciones útiles, ruidos, vibraciones, etc., por lo que dispondrá de un parte en el que anotará todos estos incidentes.
- d) **Mantenimiento de averías y roturas:** Cuidará de poner en servicio, a la mayor brevedad posible, aquellas instalaciones que, por su incidencia en el proceso, no pueden esperar.

Para llevar a cabo estas operaciones toda planta cuenta con un **Plan de Mantenimiento** pormenorizado, a fin de garantizar el correcto mantenimiento y explotación de los equipos electromecánicos de las instalaciones comprendidas dentro del sistema de saneamiento.

Debido a la diferente naturaleza de trabajos que se han de realizar para el mantenimiento, se va a dividir en los siguientes cinco campos de trabajo⁹:

- Mantenimiento de equipos electromecánicos de las EDARs.
- Mantenimientos especializados.
- Mantenimiento de la obra civil y pintura.
- Mantenimiento de jardinería.
- Mantenimiento de la red de colectores.

7.3 Operaciones de conservación.

Las operaciones de conservación se centran en dos principalmente:

7.3.1 Conservación de la línea de funcionamiento.

Los objetivos principales en la conservación de la línea de funcionamiento son:

- Limitar el envejecimiento del material ocasionado por la acción destructora del tiempo, el clima y actos ajenos a la explotación.
- Intervenir antes de que el coste de la reparación sea demasiado elevado.
- Eliminar o limitar los riesgos de averías.
- Cuidar del aspecto exterior y estéticos de las instalaciones.

⁹ En el anexo 4 se desarrollan los cinco campos de trabajo.

- Velar por el estado de buen uso de plataformas, accesos, escaleras, iluminación, etc.
- Suprimir las causas de accidentes graves.
- Asesorar las decisiones en política de nuevas inversiones.

Las operaciones básicas que se aplicarán para cumplir dichos objetivos son, por ejemplo, el repintado de elementos electromecánicos, barandillas obra civil; el engrase, accionamiento y limpieza de las válvulas; y el pintado.

7.3.2 Conservación de los equipos de reserva.

Los objetivos principales son:

- Limitar el envejecimiento del material ocasionado por la acción destructora del tiempo, el clima y actos ajenos a la explotación.
- Eliminar o limitar los riesgos de averías posteriores.
- Cuidar del aspecto exterior y estético de las instalaciones.
- Velar por el estado de buen uso de plataformas, accesos, escaleras, iluminaciones, máquinas, luces eléctricas, etc.
- Suprimir las causas de accionamiento graves.

Las operaciones básicas que se aplicarán serán el pintado anual, repintado, puesta en funcionamiento programada, estopados y el engrase, accionamiento y limpieza.

7.4 Costes de mantenimiento y conservación.

La explotación, mantenimiento y conservación de los equipos e instalaciones que componen el tratamiento de la E.D.A.R. se clasifican, en función de su relación con el caudal tratado, en fijos y variables.

Costes fijos:

Tienen concepto de costes fijos aquellos que son independientes del caudal tratado, que se producen sin distinción de que la E.D.A.R. esté en funcionamiento o parada.

Los costes fijos se dividen en:

- Costes de mantenimiento y conservación.
- Costes de personal.
- Energía Eléctrica.
- Varios.

Si nos centramos en los costes de mantenimiento y conservación se incluyen los costes derivados del mantenimiento de los equipos en sus diferentes versiones: Mantenimiento de uso (M.U.S.), Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Correctivo, Mantenimiento Modificativo y Mantenimiento Energético y Ambiental; además de los costes de conservación de la Obra Civil, Viales, Jardinería, etc.

En los costes de personal se incluyen únicamente los derivados de la retribución de los técnicos, operarios y administrativos en toda la extensión: Nómina, Seguros Sociales, Pluses, etc.

Existe un coste de la energía eléctrica función de la potencia contratada que es independiente de los caudales tratados.

En varios se incluyen todos aquellos que no hayan sido contemplados en los grupos anteriores: Teléfono, Seguros varios, Asesorías varias, Material de oficina, Vestuario personal, Formación de personal, Seguridad, Limpiezas especiales, etc.

Costes variables:

Son los que dependen del caudal tratado, tanto en cuanto a sus características cuantitativas como cualitativas, aunque a todos los efectos, una vez definidas las características medias del agua, solo se consideran a efectos de costes dependientes del volumen de agua tratada.

Los costes se dividen en:

- Costes de Energía Eléctrica
- Costes de Productos Químicos

La energía eléctrica en forma de kWh consumida será función de los consumos eléctricos esperados. Si bien de forma natural la tendencia diaria de consumos se parecerá a la de caudales, las actuaciones del gestor de la explotación desplazando a horas valles los consumos energéticos de determinadas instalaciones (deshidratación de fangos) hacen que la misma se aplane ligeramente.

Los costes de productos químicos incluyen los reactivos utilizados en las líneas de agua y fangos.

7.4.1 Caso 1.

La forma común en los proyectos de hacer una primera aproximación a los costes de mantenimiento de los equipos mecánicos es mediante un porcentaje de los costes de los equipos. En este caso, para una primera aproximación, se ha decidido optar por un 10 % de los costes de equipos.

De esta manera podemos calcular que:

$$C_{emc1} = C_{eq1} \cdot 0.1$$

C_{emc1} : costes de mantenimiento en el caso 1.

C_{eq1} : costes de los equipos mecánicos en el caso 1.

Por tanto:

$$C_{emc1} = 42200 \text{ €} \cdot 0.1 = 4200 \text{ €/año}$$

7.4.2 Caso 2.

En el caso 2 estos costes se calculan de la misma forma que en el caso anterior, por tanto nos lleva a las siguientes aproximaciones:

$$C_{emc2} = C_{eq2} \cdot 0.1$$

C_{emc2} : costes de mantenimiento en el caso 2.

C_{eq2} : costes de los equipos mecánicos en el caso 2.

Por tanto:

$$C_{emc1} = 89400 \text{ €} \cdot 0.1 = 8940 \text{ €/año}$$

Capítulo 8. CONCLUSIONES.

La elección del tipo de tecnología para el espesamiento del fango reside en varios factores entre los que destacamos: la cantidad de fango generada a espesar, la necesidad de obtener un fango más o menos concentrado, y la que normalmente es la restricción más importante, la económica.

En el presente proyecto se ha evaluado dos alternativas. Un primer caso en el que mezclamos los dos tipos de fangos (primarios y biológicos) obteniendo un fango mixto y los espesamos por gravedad. La segunda opción estudiada es el espesamiento por separado de los dos tipos de fangos.

Caso 1: FANGOS ESPESADOS POR GRAVEDAD = $5.3 \text{ m}^3/\text{d}$

Caso 2: FANGOS PRIMARIOS ESPESADOS + FANGOS EN EXCESO ESPESADOS = $1.83+2.24 \text{ M}^3/\text{D} = 4.07 \text{ m}^3/\text{d}$

Como resultado de este estudio comprobamos que si se elige el segundo caso, obtenemos menos fango. El fango obtenido mediante el espesamiento por separado, aprovechando sus características, es más concentrado, es decir, tiene menos agua que el fango obtenido mediante un espesamiento mediante tecnología única ya que el rendimiento del primer procedimiento es mayor.

La desventaja de construir los dos espesadores es que se requiere más terreno que en caso de construir un espesador. Además se requiere duplicar todos los equipos lo cual produce un incremento muy importante en el coste de la fabricación de dos espesadores en lugar de uno solo. En la siguiente tabla podemos visualizar un resumen de los costes estudiados durante el proyecto:

Tabla 8.1. Costes en los dos casos en estudio.

Coste	Caso 1	Caso 2	Porcentaje de diferencia (%)
Obra civil (€)	33977	25291	-25.56
Equipos mecánicos (€)	42200	89400	52.8
Equipos auxiliares (€)	2106	10611	80.15
Mantenimiento (€/año)	4200	8940	53.02
Costes totales ¹⁰ (€)	189283	348802	45.73

Se puede observar claramente que la inversión a realizar en el caso 2 es mucho mayor que en el caso 1. La opción de espesar los fangos mixtos mediante una única tecnología (mediante un espesador de gravedad) sería mucho más económica para el caso de una E.D.A.R de 50.000 habitantes equivalentes. Si la población fuese mayor, se incrementaría la producción

¹⁰ Se van a añadir a los costes totales, los costes de mantenimiento durante el periodo de amortización, que en el caso de esta depuradora será de 25 años.

de fangos y podría llegar un momento en el que optar por el segundo caso fuese económicamente más igualada al caso 1.

Desde el punto de vista de la explotación de la planta, en el caso 2 tenemos un mayor número de equipos que, por consiguiente, implica un mayor consumo energético (mayor coste de electricidad), mayor consumo de reactivos, también necesitaríamos una mayor mano de obra y una mayor complicación en la explotación de la E.D.A.R. debida a la existencia de una serie de equipos adicionales. En resumen, los costes de operación y mantenimiento de una planta con las dos tecnologías de espesamiento resulta más cara que con un simple espesador por gravedad.

Todas las consideraciones que hemos tenido en cuenta hasta ahora sólo considera el proceso de espesamiento de los fangos. Si miramos adelante, al siguiente paso dentro del tratamiento de fangos, podemos obtener también unas conclusiones importantes. Podemos considerar que tras el espesado los fangos van a digestión, espesando por separado los fangos obtenemos un ahorro de $0.96 \text{ m}^3/\text{h}$ en volumen de fangos, esto implica un ahorro en el volumen del digestor, lo que provocará una disminución en los tamaños de los digestores, es decir un ahorro en la obra civil de estos. Misma consideración en el caso en el que los fangos pasen a deshidratación, al ser menor el volumen de fangos a tratar, menor será el tamaño del equipo, menor consumo de reactivos y menor el volumen de fangos a almacenar y llevar a vertedero. En una planta pequeña el ahorro puede no ser muy significativo pero en una planta de mayor tamaño este puede llegar a tener un peso importante.

Como conclusión final se puede decir:

Caso 1: Implica una inversión mucho menor, y una complicación en la construcción también menor: coste de equipamiento electromecánico menor y menor coste de operación y mantenimiento.

Caso 2: Su gran inconveniente es la mayor inversión, pero proporciona una gran estabilidad al sistema. En plantas de mayor tamaño la optimización del volumen de fangos generados se convierte en una gran ventaja y justifica la mayor inversión realizada ya que los gastos de operación y mantenimiento son menores entre ellos, muy importantes, los gastos de gestión de los residuos generados son menores.

Capítulo 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] Isla de Juana, Ricardo. *Proyectos de plantas de tratamiento de aguas: aguas de proceso, residuales y de refrigeración*. Madrid, Bellisco, 2005.
- [2] Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid, McGraw-Hill, 3ª ed., 1996.
- [3] Garrido Escudero, Amalio. *Manual de especificaciones técnicas: para proyectos de construcción, ampliación o reformas de estaciones depuradoras de aguas residuales*. Murcia, Diego Marín, 2006.
- [4] Hernández Muñoz, Aurelio; Hernández Lehmann, Aurelio; Galán Martínez, Pedro. *Manual de depuración Uralita: sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20000 habitantes*. Madrid, Uralita Productos y Servicios: Paraninfo, 1995.
- [5] Degrémont. *Manual técnico del agua*. Bilbao, Grafo,S.A., 4ª ed., 1979.
- [6] Metcalf & Eddy. *Ingeniería sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*. Madrid, Editorial Labor, S.A.
- [7] http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/L%C3%ADnea_de_fangos
- [8] http://www.irimac.es/AireComprimido/SALA_diseno.html
- [9] <http://www.pramar.net/>
- [10] <http://www.estruagua.com/indexnew.php>
- [11] <http://www.atlascopco.es/eses/products/navigationbyproduct/ProductGroup.aspx?id=1473293>
- [12] <http://www.albosa.com/>
- [13] *Boletín oficial del Estado*, Gobierno de España. Real decreto 1247/2008. BOE num. 203.
- [14] Metcalf & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales. Redes de alcantarillado y bombeo*. Madrid, McGraw-Hill, 2ª ed., 1995.

ANEXOS

ANEXO 1. Fangos.

En el tratamiento de las aguas residuales se generan unos subproductos conocidos como fangos, en los que se concentra la mayor parte de la contaminación eliminada de las aguas, y cuyo tratamiento y evacuación son complejos y costosos.

Los fangos generados en una EDAR presentan una elevada componente orgánica, por lo que son susceptibles de entrar en putrefacción y de provocar un decaimiento en la calidad de los efluentes tratados, además de producir malos olores. Estos hechos, unidos a que en los fangos quedan retenidos una gran cantidad de organismos patógenos, y a las cada vez más restrictivas condiciones de reutilización y vertido de los mismos, hacen que se tengan que tomar medidas más eficientes en la gestión de estos subproductos, dándole a su línea de tratamiento la importancia, que con respecto a las líneas globales del proceso de depuración, se merece.

La calidad y cantidad de fangos producidos en una EDAR dependen tanto del tipo de aguas residuales influentes como de las tecnologías de depuración aplicadas para el tratamiento de las mismas. Tal y como se ha comprobado a lo largo de los capítulos dedicados a la descripción de los sistemas de tratamiento aplicables en pequeñas poblaciones, existen tecnologías en las que se genera poca cantidad de fangos (Humedales Artificiales, Lagunajes, Filtros de Turba, etc.) y otras en las que se generan cantidades considerables (Aireaciones Prolongadas, sistemas de biopelícula, etc.).

Debido al amplio abanico de tecnologías aplicables a las pequeñas poblaciones, incluyendo sus múltiples combinaciones, los fangos generados se caracterizan por su elevada diversidad. Una de las complicaciones encontradas en este ámbito de estudio, es la carencia de datos sobre la composición y características de los fangos generados en las pequeñas poblaciones, sin los cuales resulta complicado plantear soluciones efectivas para su tratamiento y gestión final.

TIPOS DE FANGOS

Genéricamente, los fangos generados se clasifican en fangos primarios y fangos secundarios. Los fangos primarios, generados en los decantadores primarios (recomendados en el rango de población de 1.000-2.000 h-e.), son residuos pesados, con un contenido de materia orgánica del 60 al 70 % aproximadamente y, debido a su tamaño, de asimilación microbiana lenta. Estos fangos no han sufrido un tratamiento biológico por lo que son altamente inestables y putrescibles, generando, al cabo de cierto tiempo, malos olores. Su color es normalmente gris, con altos contenidos de sólidos fecales y otros tipos de desechos. Liberan fácilmente su agua de constitución y se espesan bien, variando su contenido en humedad entre el 95-99%.

Por su parte, los fangos secundarios son los sólidos procedentes de los reactores biológicos, que son separados en el clarificador secundario. Según el régimen de operación del sistema (bajos o altos tiempos de retención celular o edad del fango), la materia orgánica puede estar parcialmente descompuesta, o con un elevado grado de mineralización, como ocurre en el paso de los sistemas de Aireación Prolongada. Su color es marrón oscuro y tienen un olor a tierra húmeda no desagradable, pero en su descomposición posterior se pueden hacer sépticos y generar olores desagradables. Su contenido en humedad varía entre el 98-99,5% y son difíciles de concentrar. Pueden espesarse directamente o enviarse a la

decantación primaria, donde decantan conjuntamente con los fangos primarios, dando lugar a los fangos mixtos.

En las pequeñas EDAR es posible encontrar un tercer tipo de fangos, los generados en sistemas de Decantación-Digestión (Fosa Séptica y Tanques Imhoff) y los generados en Lagunas Anaerobias, sistemas recomendados para el rango de población entre 50 a 1.000 h-e. Estos fangos, a diferencia de los fangos primarios anteriormente mencionados, se caracterizan por estar altamente digeridos y mineralizados (contenido en sólidos volátiles inferiores al 50%), al permanecer en el reactor durante un prolongado periodo de tiempo (mínimo 6 meses en Tanques Imhoff, 1 año en Fosas Sépticas y de 5 a 10 años en las Lagunas Anaerobias).

La composición y la cantidad de este tipo de fangos dependen, entre otros factores, de la frecuencia y la manera de llevar a cabo el vaciado de estos sistemas.

MARCO NORMATIVO Y PLANIFICACIÓN

Los fangos o lodos de depuradora (LD) tienen la consideración de residuos (código 19 08 05, según el Listado Europeo de Residuos), en principio no peligrosos, salvo que existan vertidos industriales que aporten contaminantes tóxicos y peligrosos. Como al resto de residuos generados en el territorio español, les es de aplicación la Ley 10/98 de Residuos, que regula el marco normativo en la gestión de los mismos. Esta ley establece una jerarquía en la gestión de los residuos, en la que se potencia la prevención de la contaminación y la reutilización y reciclaje de estos productos, frente a su disposición final en vertederos controlados.

La peculiaridad de los fangos de depuradoras, en cuanto a su tratamiento y gestión, fue abordada en el Plan Nacional de Lodos de Depuradora (PNLD, 2001-2006), en el que, siguiendo las directrices marcadas por la Unión Europea, se potenciaba la valorización de estos subproductos, principalmente, su aplicación en agricultura por su alto contenido en nutrientes. Igualmente, se contemplaba su valorización energética y, como opción última, su disposición en vertedero. Por tanto, siempre que los fangos cumplan los requisitos legales establecidos, que serán expuestos a continuación, se considera que la opción más sostenible es el reciclaje de nutrientes y materia orgánica mediante su aplicación al suelo.

Una vez finalizado el primer PNLD, y conseguidos en gran medida los objetivos propuestos, en el año 2008 se redactó un Segundo Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales, que abarca el periodo 2008-2015, dentro del Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR). El nuevo plan de fangos (II-PNLD), vigente en la actualidad, tiene los siguientes objetivos cuantitativos:

- Valorización en usos agrícolas de, al menos el 70%, de los LD antes del 2011.
- Valorización energética de un 15% como máximo de los LD antes de 2011.
- Depósito en vertedero de un máximo de un 15% de los LD antes de 2011.
- Correcta gestión ambiental del 100% de las cenizas de incineración de LD.

Con frecuencia, en la valorización de los fangos tienen lugar varios tratamientos encadenados, a veces innecesarios e incluso perjudiciales desde el punto de vista ambiental. Por ello, un objetivo del nuevo Plan Nacional de Lodos de Depuradora (2008-2015), consiste en precisar los tratamientos realmente necesarios para optimizar la valorización de los LD.

En algunos casos es posible mejorar de manera significativa la eficacia de los tratamientos, introduciendo pequeñas modificaciones en los procesos. Las medidas que se adopten en este sentido propiciarán, no sólo una mejor gestión, sino también un abaratamiento. Igualmente, se pretende mejorar la eficiencia energética de estos procesos, minimizando los consumos de energía no renovables y produciendo ésta siempre que sea posible, por ejemplo, a partir del metano generado en los procesos anaerobios.

Según el II PNLD, los tratamientos aplicados actualmente en las EDAR son los siguientes:

- Digestión anaerobia mesofílica, con o sin aprovechamiento energético.
- Digestión anaerobia mesofílica, con o sin aprovechamiento energético del metano, seguida, en algunos casos, de compostaje y en otros de secado térmico, que puede ser seguido en algún caso por incineración.
- Deshidratación y compostaje.
- Deshidratación y secado térmico.
- Deshidratación, secado térmico y compostaje.
- Estabilización aerobia, con o sin compostaje posterior.
- Estabilización química.
- Secado térmico e incineración.
- Secado térmico y coincineración en cementeras.

La aplicación directa al suelo de fangos de depuradora sin tratar está prohibida por la Legislación Europea (DE 86/278/CEE), que fue transpuesta a la legislación nacional por el Real Decreto 1310/1990. El objeto principal de ambos textos normativos es regular la utilización de los fangos de depuradora en agricultura, de modo que se eviten efectos nocivos en los suelos, en la vegetación, en los animales y en el ser humano, al mismo tiempo que se estimula su correcta utilización. Asimismo, el Real Decreto impone una serie de disposiciones administrativas sobre el control de la producción y comercialización de los fangos tratados, que deberán ser controladas por las Comunidades Autónomas y, paralelamente, se crea Registro Nacional de Lodos, adscrito al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (en la actualidad, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino). Todo ello viene regulado por la Orden Ministerial de 26 de octubre de 1993 (BOE 5 de noviembre de 1993), sobre utilización de fangos de depuradoras en el sector agrario.

El Real Decreto 1310/1990 regula la utilización de fangos procedentes de depuradoras, haciendo referencia a:

- Exigencia de que todo fango destinado a la agricultura sea tratado previamente por vía biológica, química o térmica o sea sometido a un almacenamiento de larga duración o cualquier procedimiento adecuado, que reduzca de manera significativa el poder de fermentación de los fangos, así como los inconvenientes sanitarios de su utilización.
- Fangos que pueden o no utilizarse en las tierras agrícolas.
- Épocas en las que se prohíbe la aplicación de fangos tratados.
- Concentraciones de metales pesados permitidas en los fangos y en los suelos para que puedan aplicarse en ellos, así como las cantidades máximas de metales pesados aplicados por hectárea y año.
- Documentación expedida sobre toda la partida de fangos tratados.

Desde hace varios años, la Comisión Europea trabaja en el borrador de una nueva Directiva para la regulación del uso agrícola de los fangos de depuradora. Una de las

novedades más destacables en la última “Propuesta para una Directiva del Parlamento y el Consejo Europeo sobre aplicación de fangos al suelo (30 de abril de 2003)”, es el establecimiento de límites para contaminantes orgánicos y dioxinas (AOX, LAS, DEHP, NEP, PAH, PCB, PCDD/F) en el fango.

Asimismo, es resaltable las restricciones en el empleo de fangos en agricultura dependiendo del grado de tratamiento al que hayan sido sometidos estos residuos. En este sentido se habla de tratamientos avanzados, que persiguen la higienización del fango (reducción de 4 log10, en *Escherichia Coli*, con valores menores que 1×10^3 UFC/g MS; menos de 3×10^3 esporas de *Clostridium perfringens* en 1 g MS de fango tratado y ausencia de *Salmonella* spp. en muestra de 50 g MS) y tratamientos convencionales (reducción de 2 log10, en *Escherichia Coli*, con valores menores que 5×10^5 UFC/g MS).

La inclusión final de estos parámetros en la nueva Directiva supondrá, en caso de ser aprobada sin nuevas modificaciones, un aumento del nivel de tratamiento al que deben someterse los fangos y un mayor control del producto final obtenido para garantizar, de esta forma, una aplicación más segura de estos productos en la agricultura.

Por último, cabe destacar que existen dos normas estatales que afectan a la aplicación de fangos en agricultura, el Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes, que rige el uso de fangos de depuración y otros biosólidos en la elaboración de fertilizantes orgánicos y su comercialización, y la Directiva 91/676/ CEE, transpuesta a la legislación española mediante el Real Decreto 261/1996, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

En cuanto a la valorización energética de los fangos de depuradora, este aspecto no se encuentra regulado específicamente en ningún texto normativo, aunque existe una Directiva Europea relativa a la incineración de residuos (DE 2000/76/CE).

Por último, el vertido de los fangos en vertederos controlados está regulado por el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Para proceder al depósito prolongado de los fangos de depuradora en un vertedero controlado éstos deben cumplir con las especificaciones definidas en este RD.

ANEXO 2. Boletín oficial del estado sobre la fase de hormigonado.

35176

Viernes 22 agosto 2008

BOE núm. 203

I. Disposiciones generales

PRESIDENCIA DEL GOBIERNO

14166 *REAL DECRETO 1429/2008, de 21 de agosto, por el que se declara luto oficial con motivo del accidente aéreo acaecido en el Aeropuerto de Madrid-Barajas.*

Como testimonio de dolor de la Nación española ante el fallecimiento de numerosas personas provocado por el accidente aéreo ocurrido en el Aeropuerto de Madrid-Barajas en el día de ayer,

DISPONGO:

Artículo único. *Luto oficial.*

Se declara luto oficial desde las 00 horas del día 22 de agosto hasta las 24 horas del día 24 de agosto, durante las cuales la Bandera Nacional ondeará a media asta en todos los edificios públicos y buques de la Armada.

Disposición final única. *Entrada en vigor.*

El presente real decreto entrará en vigor el mismo día de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

Dado en Madrid, el 21 de agosto de 2008.

JUAN CARLOS R.

El Presidente del Gobierno,
JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ ZAPATERO

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA

14167 *REAL DECRETO 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08).*

Las estructuras constituyen un elemento fundamental para conseguir la necesaria seguridad de las construcciones que en ellas se sustentan, tanto de edificación como de ingeniería civil, y en consecuencia, la de los usuarios que las utilizan.

Entre los diferentes materiales que se emplean en su construcción, el hormigón es el más habitual, por lo que el proyecto y la construcción de estructuras de hormigón cobra una especial relevancia en orden a la consecución de dicha seguridad.

La Instrucción de hormigón estructural (EHE), aprobada por Real Decreto 2661/1998, de 11 de diciembre, a la que sustituye la que se aprueba por este real decreto, ha venido constituyendo, desde su entrada en vigor, el marco en el que se establecen los requisitos a tener en cuenta en el proyecto y ejecución de estructuras de hormigón, tanto de edificación como de ingeniería civil, con el objeto de lograr los niveles de seguridad adecuados a su finalidad.

Durante el tiempo transcurrido desde la aprobación de la EHE, se han producido una serie de novedades de carácter técnico y reglamentario que afectan al contenido de dicha Instrucción y que han aconsejado su actualización. Así, en el ámbito europeo, el Comité Europeo de Normalización ha desarrollado notablemente el programa de eurocódigos estructurales y, en particular, el grupo de normas EN-1992 «Eurocódigo 2. Proyecto de estructuras de hormigón». Además, se ha experimentado un gran avance en la implantación del marcado CE para los productos de construcción, en virtud de lo dispuesto en la Directiva 89/106/CEE del Consejo, de 21 de diciembre de 1988, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembro sobre los productos de construcción, transpuesta por el Real Decreto 1630/1992, de 29 de diciembre, que ha dado lugar a que en muchos casos ya esté vigente dicho marcado para diferentes productos de construcción considerados en la EHE: Áridos, cementos, adiciones, aditivos, elementos prefabricados, sistemas de aplicación del pretensado,... etc.

En el ámbito interno, cabe destacar la entrada en vigor de nuevas reglamentaciones técnicas, como el Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo; la Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02) y la Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07), aprobadas, respectivamente, por Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, y por Real Decreto 637/2007, de 18 de mayo, así como la Instrucción para la recepción de cementos (RC-08), aprobada por Real Decreto 956/2008, de 6 de junio.

Las novedades antes citadas, junto con la experiencia adquirida en la aplicación de la Instrucción de hormigón estructural hasta ahora vigente, han motivado que la Comisión Permanente del Hormigón, órgano colegiado regulado por el Real Decreto 1177/1992, de 2 de octubre, haya elaborado una propuesta para su revisión en uso de las funciones que se atribuyen a dicho órgano en el artículo 3 del citado real decreto, habiendo propuesto su aprobación.

La nueva Instrucción, de carácter eminentemente técnico, adopta un enfoque prestacional, que hace más explícito el tradicionalmente empleado en anteriores instrucciones, lo que permite no limitar la gama de posibles soluciones o el uso de nuevos productos y técnicas innovadoras. Para ello, establece y cuantifica unas exigencias

de forma que puedan ser objeto de comprobación y cuyo cumplimiento acredite el de los requisitos exigibles a las estructuras para la consecución de la necesaria seguridad. Este enfoque se alinea con el que se plantea en el Código Técnico de la Edificación, así como en otras reglamentaciones técnicas y, por otra parte, también adopta el sistema de seguridad de las normas europeas «Eurocódigos estructurales».

Por lo tanto, la nueva Instrucción se configura como un marco de unicidad técnica coherente con el establecido en la normativa técnica europea y armonizado con las disposiciones relativas a la libre circulación de productos de construcción dentro del mercado único europeo, en particular con la Directiva 89/106/CEE.

El nuevo texto de la Instrucción profundiza en el tratamiento de la durabilidad de las estructuras de hormigón, incluyendo procedimientos para la estimación de su vida útil, con objeto de disminuir las patologías derivadas de la agresividad del ambiente en que se ubica la estructura. También revisa el planteamiento de gestión de la calidad a realizar en la obra, incorporando sistemas que permitan reducir los ensayos en la misma, a la vez que intensifica las inspecciones a realizar sobre aquellos procesos que pudieran tener mayor trascendencia tanto en la ejecución de la estructura como en su comportamiento.

Asimismo, la Instrucción fomenta la incorporación de criterios de sostenibilidad al proyecto y ejecución de la estructura mediante algunos aspectos novedosos, como la consideración de criterios medioambientales, la prevención de impactos sobre el medio ambiente durante la ejecución de la estructura, el empleo de hormigones reciclados, el uso de subproductos industriales como materiales componentes del hormigón y el establecimiento de un índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad que permita la comparación en este ámbito de posibles alternativas de proyecto.

Adicionalmente, la nueva Instrucción contempla el uso de nuevos materiales y tecnologías que se han venido consolidando en la construcción de estructuras de hormigón, como los hormigones autocompactantes, los hormigones de fibras o los hormigones con áridos ligeros.

Por otra parte, los forjados prefabricados, cuyo proyecto y ejecución quedaba regulado en la «Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE)», aprobada por Real Decreto 642/2002, de 5 de julio, se incorporan a la nueva Instrucción al tratarse de elementos que están incluidos en el ámbito del hormigón estructural.

Por último, el Real Decreto 1630/1980, de 18 de julio, sobre fabricación y empleo de elementos resistentes para pisos y cubiertas, establece que los sistemas de forjados o estructuras para pisos y cubiertas que pretendan industrializarse para su empleo en edificación deberán disponer de autorizaciones de uso. Sin embargo, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE, los elementos prefabricados de hormigón que forman parte de dichos sistemas, en la medida que las normas europeas armonizadas están disponibles, deben ostentar el correspondiente marcado CE, que acredita que el producto que lo exhibe es idóneo para el uso al que se destina y, por lo tanto, permite su libre circulación y comercialización en el ámbito europeo sin ninguna exigencia adicional. En consecuencia, aquellos elementos que estén obligados al marcado CE no requieren de la mencionada autorización de uso.

El objeto de este real decreto es la aprobación de la Instrucción de hormigón estructural (EHE-08), en la que se incorporan las cuestiones que, con carácter general, han sido citadas anteriormente y que suponen la adaptación de la reglamentación a los criterios imperantes en el ámbito europeo en relación con los requisitos exigibles a las estructuras, así como la incorporación de nuevas téc-

nicas constructivas y de nuevos materiales, incluyendo los reciclados.

En la tramitación de este real decreto se han cumplido los trámites establecidos en el Real Decreto 1337/1999, de 31 de julio, por el que se regula la remisión de información en materia de normas y reglamentaciones técnicas y de las reglas relativas a los servicios de la sociedad de la información en aplicación de la Directiva 98/34/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de junio.

Asimismo, este real decreto se adopta a iniciativa de la Comisión Permanente del Hormigón.

En su virtud, a propuesta de los Ministros de Fomento, de Industria, Turismo y Comercio y de Vivienda, y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 18 de julio de 2008,

DISPONGO:

Artículo único. *Aprobación de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).*

Se aprueba la «Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)», que se inserta a continuación.

Disposición adicional primera. *Aplicación del Real Decreto 1630/1980, de 18 de julio, sobre fabricación y empleo de elementos resistentes para pisos y cubiertas.*

En el caso de elementos resistentes para pisos y cubiertas que incluyan elementos prefabricados de hormigón que deban ostentar obligatoriamente el marcado CE, no será exigible la autorización de uso a que hace referencia el Real Decreto 1630/1980, de 18 de julio, sobre fabricación y empleo de elementos resistentes para pisos y cubiertas.

Disposición adicional segunda. *Normativa de prevención de riesgos laborales.*

En lo relativo a los aspectos de prevención de riesgos laborales que deben tenerse en cuenta en el proyecto y ejecución de las estructuras y elementos estructurales de hormigón, se estará a lo dispuesto en la normativa específica de seguridad y salud sobre la materia y, en particular, a lo establecido en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

Disposición transitoria única. *Aplicación a proyectos y obras.*

Lo dispuesto en este real decreto no será de aplicación a los proyectos cuya orden de redacción o de estudio, en el ámbito de las Administraciones públicas, o encargo, en otros casos, se hubiese efectuado con anterioridad a su entrada en vigor, ni a las obras de ellos derivadas, siempre que estas se inicien en un plazo no superior a un año para las obras de edificación, ni a tres años para las de ingeniería civil, desde dicha entrada en vigor.

Disposición derogatoria única. *Derogación normativa.*

1. A la entrada en vigor de este real decreto, quedan derogadas las disposiciones siguientes:

a) Real Decreto 2661/1998, de 11 de diciembre, por el que se aprueba la Instrucción de Hormigón Estructu-

ral (EHE), modificado por el Real Decreto 996/1999, de 11 de junio.

b) Real Decreto 642/2002, de 5 de julio, por el que se aprueba la «Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE)».

2. Asimismo, quedan derogadas cuantas disposiciones de igual o inferior rango se opongan a lo establecido en este real decreto.

Disposición final primera. *Título competencial.*

Este real decreto se dicta al amparo de lo dispuesto en la regla 13.^a del artículo 149.1 de la Constitución, que atribuye al Estado la competencia en materia de bases y coordinación de la actividad económica.

Disposición final segunda. *Facultad de desarrollo.*

Se faculta al Ministro de Fomento para que pueda modificar, a propuesta de la Comisión Permanente del Hormigón, la relación de normas referenciadas en el

Anejo 2 de la «Instrucción de hormigón estructural (EHE-08)», cuando dicha modificación tenga por objeto acomodar su contenido al progreso de la técnica o a la normativa comunitaria, así como para dictar las disposiciones necesarias para el desarrollo y aplicación de este real decreto.

Disposición final tercera. *Entrada en vigor.*

El presente real decreto entrará en vigor el uno de diciembre de dos mil ocho.

Dado en Madrid, el 18 de julio de 2008.

JUAN CARLOS R.

La Vicepresidenta Primera del Gobierno
y Ministra de la Presidencia,

MARÍA TERESA FERNÁNDEZ DE LA VEGA
SANZ

(En suplemento aparte se publica la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08)

ANEXO 3. Bombas.

BOMBA SUMERGIBLE UTILIZADA EN EL CASO 1 ANTES DE ESPESAR.



0110004177

Posición: 41.Bomba sumergible de fangos en exceso.EDAR CILLEROS, CECLAVÍN

PYSA,S.C.L.
EDARS COMARCA AGRARIA CÁCERES.ZONA FRONTERIZA PORTUGAL

DATOS DE LA INSTALACIÓN

Caudal unitario exigido	8 m3/h	Paso de sólidos exigido	-
Altura manométrica calculada	8 m.c.a.	Tipo de aguas	fangos
		Tipo de instalación	sumergida fija

PARÁMETROS EN EL PUNTO DE SERVICIO

Caudal unitario:	8.31 m3/h
Altura manométrica:	8.64 m.c.a
Rendimiento hidráulico:	26.50 %
Potencia absorbida en el eje:	0.732 kW

SOLUCIÓN PROPUESTA

Modelo:	AS0630-S 13/4-D01-10-MD186		
Nº de equipos	4		
Nota:	2 equipos por EDAR		
Datos del equipo			
P2 Pot. nominal en eje	1,3 kW	Tipo de impulsor	Vortex
Velocidad motor	1450 rpm	Paso de sólidos	60 mm
Tensión	400 V	Diámetro de salida	65 mm
Intensidad nominal	3,6 A	MATERIALES	
Peso	37 kg	Alojamiento motor	Fundición Gris GG 25
Longitud del cable	10 m	Eje del rotor	Acero inox. AISI 420
Nº/Diám. del impulsor		Impulsor	Fundición Gris GG 25
P1 Pot. consumida	1,9 kW	Voluta	Fundición Gris GG 25
		Tornillería exterior	Acero inox. AISI 316
Sistema de refrigeración	Libre circulación del medio.		
Estanqueidad del eje	Junta mecánica Carburo-silicio		

PRESUPUESTO AS0630-S 13/4-D01-10-MD186

Unidades	Descripción del Material	Precio unitario	Importe en Euros
4	Bomba sumergible AS0630-S 13/4-D01-10-MD186	400,00	1.600,00
4	PEDESTAL DN 65 AS/MF	168,00	672,00
Importe total neto			2.272,00

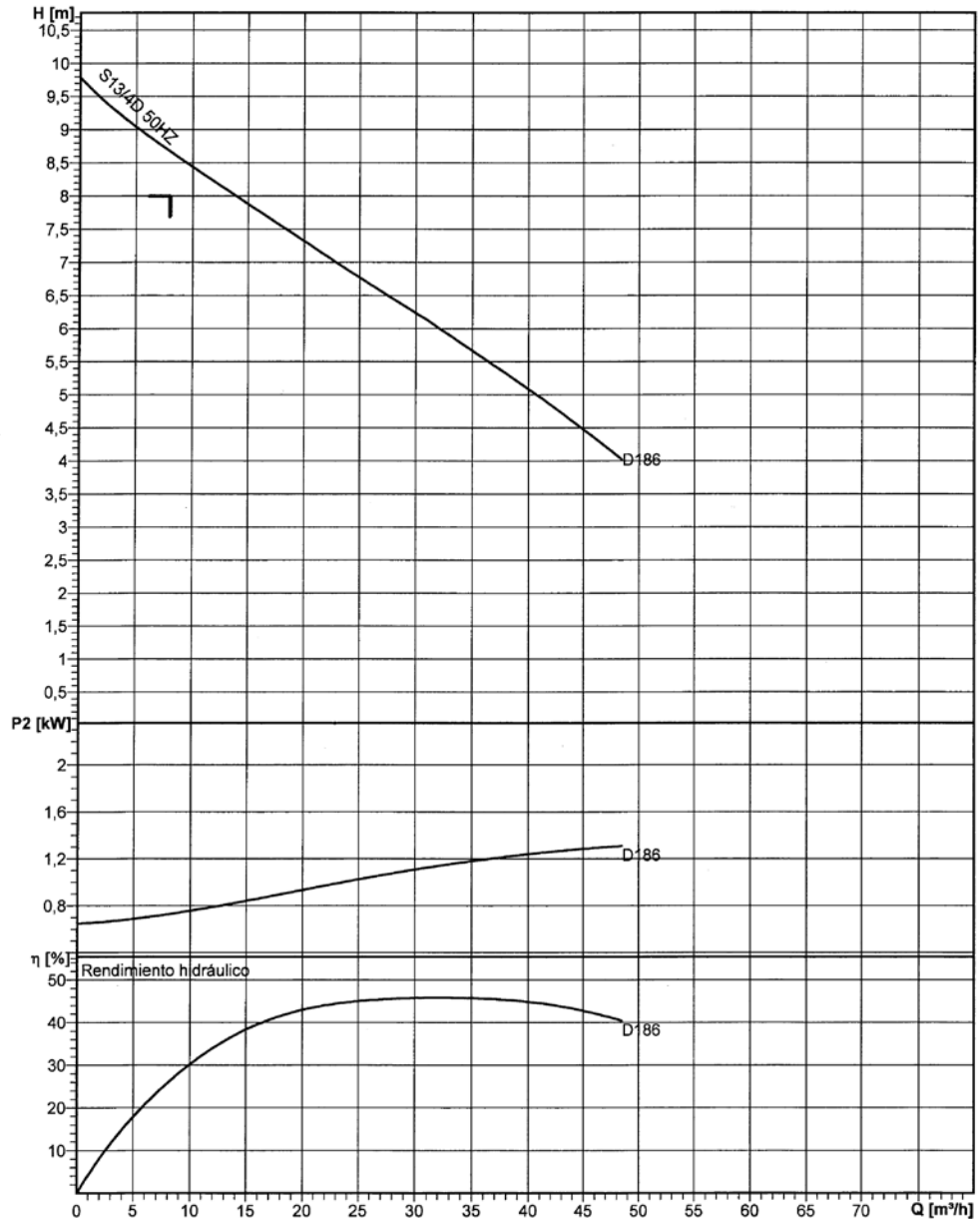


Curva de performance bomba AS 0630 D 50 HZ

Numero curva

Curva de referencia
AS 0630 D

Densidad 1000 kg/m³	Viscosidad 1,57 mm²/s	Normas de referencia ISO 9906 - Annex A1/A2	Boca impulsión DN65	Frecuencia 50 Hz
Caudal 8,31 m³/h	Altura 8,64 m	Potencia nominal 0,732 kW	Velocidad nominal 1330 1/min	Fecha 13.02.2007
			Rendimiento hidráulico 26,5 %	NPSH



Dimensiones rodete 186 mm	N° de paletas 6	Rodete Vortex	Dim. cuerpos sólidos 60 mm	Revisión 2005-06-14
------------------------------	--------------------	------------------	-------------------------------	------------------------

ABS se reserva el derecho de modificaciones en los datos y dimensiones sin previo aviso, sin que ello implique ninguna responsabilidad.

ABSEL PRO 1.7.1 / 17.03.2005

BOMBA DE TORNILLO UTILIZADA EN EL CASO 1 DESPUÉS DEL ESPESAMIENTO.

CARACTERISTICAS

BOMBA HELICOIDAL MARCA **MONO**, GAMA "COMPACT" MONOBLOC, CON LA APROBACION DEL LLOYD'S QUALITY:

ISO 9001

MARCA	: MONO
MODELO	: C15KC11RMB
EJECUCION	: HORIZONTAL
FLUIDO A BOMBLEAR	: FANGOS ESPESADOS AL 2,5%
Tª FLUIDO	: AMBIENTE
VISCOSIDAD	: < 150 CPS
CAUDAL	: 5,0 – 12,0 M ³ /H.
ALTURA MANOMETRICA	: 10 M.C.A.
VELOCIDAD BOMBA	: 100 - 230 RPM
PASO DE SOLIDOS	: 10mm(DUROS)# 35mm(DEFORMABLES)
POTENCIA ABSORBIDA	: 1,26 KW
PAR DE ARRANQUE	: 133 Nm
PAR FUNCIONAM.	: 54 Nm
POTENCIA RECOMENDADA	: 2,2 KW
N.P.S.H.BOMBA	: 1,71 MCA
CONEX.ASP/IMPULSION	: 80mm DIN 2533; PN-16

MATERIALES

CUERPO	: Hº Fº GG25;BS EN 1561 grado EN-GJL-HB195
ROTOR	: ACERO AISI 4.140/CROMADO(250µ)(1)
STATOR	: CAUCHO SINTETICO PERBUNAN
BIELA	: ACERO AL CARBONO; BS EN 10277; 20NiCrMoS2-2
EJE ACCIONAMIENTO	: ACERO INOX.BS EN 10088; X2CrNiMo17-12-2
SELLADO	: CIERRE MECANICO EN C.SILICIO

(1).- Este espesor en el recubrimiento, lo standard es de 100 micras, garantiza que la vida útil del rotor va a ser muy superior. Posterior a su mecanización y aplicación del tratamiento de dureza, este rotor ha sido sometido a un proceso de pulido para disminuir el desgaste en el stator.

Distribuidor para España:





Pag.nº 2 de 2

ACCIONAMIENTO

MOTOR	: ELECTRICO
POTENCIA	: 2,2 KW
VELOCIDAD	: 1.450 RPM
TENSION	: 400 Vltts
FRECUENCIA	: 50 Hz
PROTECCION	: IP-55
FORMA CONSTRUCTIVA	: B-5
AISLAMIENTO	: F

REDUCTOR DE VELOCIDAD

MODELO	: DE EJES PARALELOS
ACOPAMIENTO A BOMBA	: MONOBLOC CON BANCADA DE CHAPA DOBLADA
VELOCIDAD DE SALIDA	: ± 210 RPM. A 50 Hz.

Nota.- La variación de la velocidad se podrá realizar, bien mediante un variador mecánico de poleas de garganta desplazable y regulación manual mediante volante situado en la propia máquina, o con la incorporación de un convertidor de frecuencia.

ACABADO

Según normas generales.

- ♦ Granallado superficial mediante granalla angular de fundición de coquilla G-47.
- ♦ Imprimación anticorrosiva mediante diluyente ácido de secado rápido, con un espesor de 25 micras.
- ♦ Capa final de resina alquídica con adición de vinilo, con un espesor de capa de 50 micras.

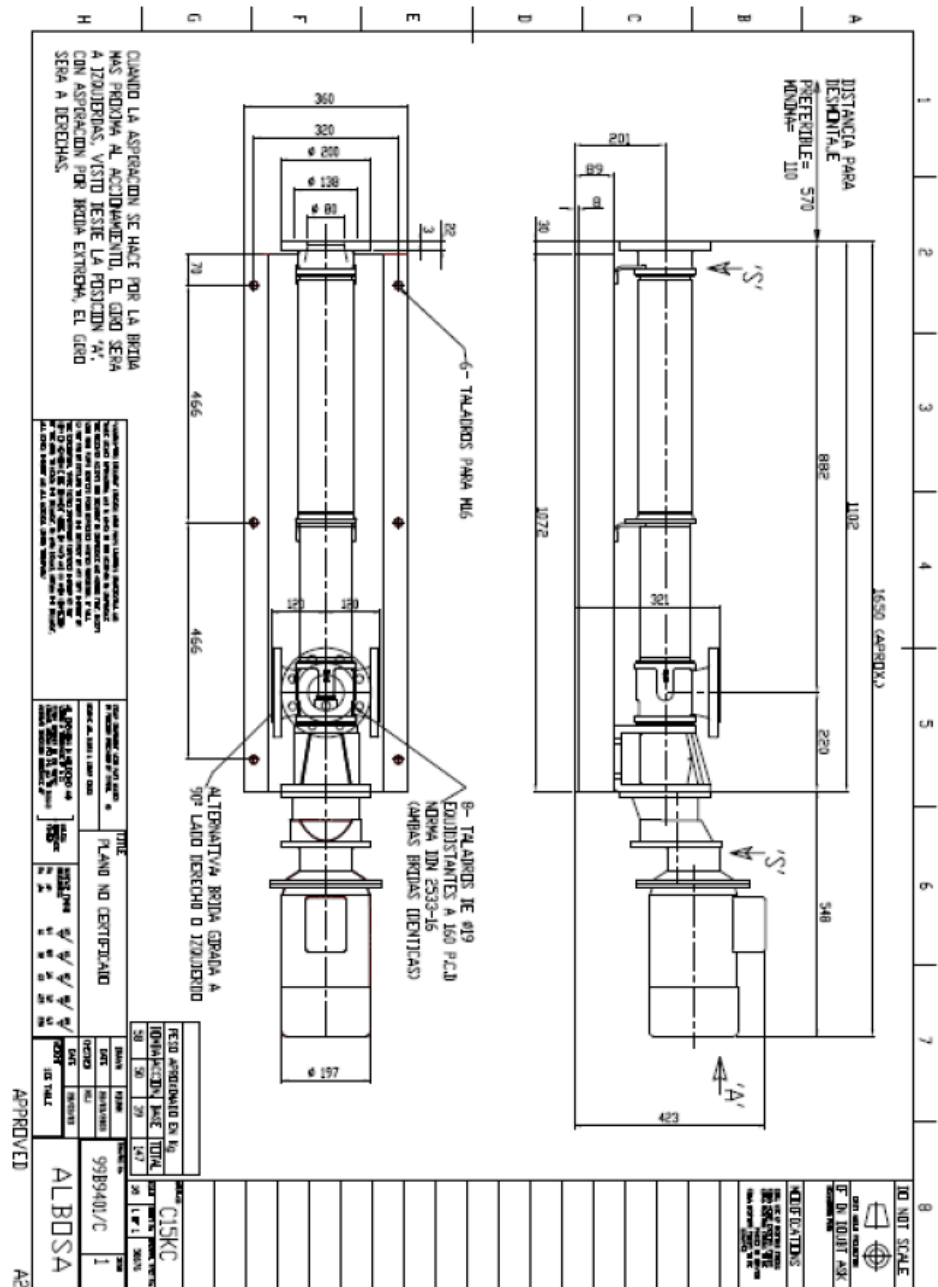
Precio neto grupo con reductor	: 1.454,00 €.
Extra-precio variador mecánico	: 410,00 €.
Extra-precio convertidor frecuencia	: No incluido.

Los precios se entienden por material embalado y puesto en la planta.

PLAZO DE ENTREGA	: 5 Semanas, a confirmar.
VALIDEZ DE LA OFERTA	: 3 Meses.
FORMA DE PAGO	: A Convenir

Distribuidor para España:





Distribuidor para España:

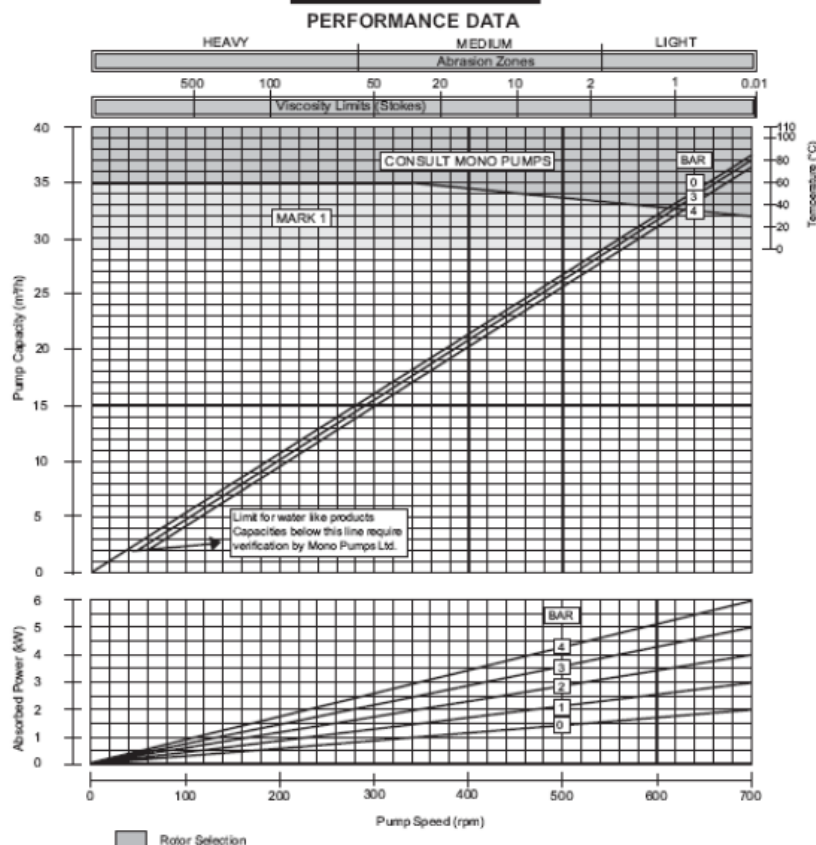




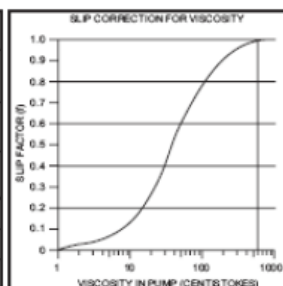
PUMP RANGE	COMPACT
MODEL	C15K
STATUS	CURRENT



SECTION	3
PAGE	C15K01
DATE	MAR 2006



SLIP CORRECTION		n = corrected duty speed, n_s = rpm @ 0 bar, n_p = rpm @ duty press. n_s = Slip Speed = $n_p - n_s$, f_s = Slip Speed Correction = f_s/n_s Slip Corrected Speed ($n = n_p \cdot f_s$)			
TEST PARAMETERS		Above data represents tests on water @ 20°C using RR and RA stator materials.			
SOLIDS HANDLING (mm)		STARTING TORQUE (Nm)			
Hard Angular	Soft and compressible	Mark 0	Mark 1	Mark 3	Mark 5
10	35		120		



Published information other than that marked certified is to be used as a guide only

Distribuidor para España:



BOMBA SUMERGIBLE UTILIZADA EN EL CASO 2 ANTES DE ESPESAR.



0110004614

Posición: 07.BOMBA SUMERGIBLE

PYSA,S.C.L.
EDAR ESTEIRO-MUROS.A CORUÑA

DATOS DE LA INSTALACIÓN

Caudal unitario exigido	5 m3/h	Paso de sólidos exigido	-
Altura manométrica calculada	10 m.c.a.	Tipo de aguas	FANGOS
		Tipo de instalación	sumergida fija

PARÁMETROS EN EL PUNTO DE SERVICIO

Caudal unitario:	5.18 m3/h
Altura manométrica:	10.7 m.c.a
Rendimiento hidráulico:	13.9 %
Potencia absorbida en el eje:	1.1 kW

SOLUCIÓN PROPUESTA

Modelo:	AS0630-S 22/4-D01-10-M		
Nº de equipos	2		
Datos del equipo			
P2 Pot. nominal en eje	2,2 kW	Tipo de impulsor	Vortex
Velocidad motor	1450 rpm	Paso de sólidos	60 mm
Tensión	400 V	Diámetro de salida	65 mm
Intensidad nominal	5,5 A	MATERIALES	
Peso	42 kg	Alojamiento motor	Fundición Gris GG 25
Longitud del cable	10 m	Eje del rotor	Acero inox. AISI 420
Nº/Diám. del impulsor		Impulsor	Fundición Gris GG 25
P1 Pot. consumida	3 kW	Voluta	Fundición Gris GG 25
		Tornillería exterior	Acero inox. AISI 316
Sistema de refrigeración	Libre circulación del medio.		
Estanqueidad del eje	Junta mecánica Carburo-silicio		

PRESUPUESTO AS0630-S 22/4-D01-10-M

Unidades	Descripción del Material	Precio unitario	Importe en Euros
2	Bomba sumergible AS0630-S 22/4-D01-10-M	875,00	1.750,00
2	PEDESTAL DN 65 AS/MF	241,50	483,00
Importe total neto			2.233,00

ABS Tecnologías del Agua, S.A. • Oficina central • C/ Madera, 8-16 • P.I. Santa Ana • 28529 Rivas-Vaciamadrid (Madrid) • Tel. 916 702 851 • Fax 916 665 923
Alicante 965 283 912 • Barcelona 932 632 900 • Bilbao 946 312 074 • Madrid 916 994 009 • Málaga 952 201 521 • Murcia 968 805 252 • Oviedo 985 781 819
Sevilla 954 259 410 • Valencia 961 519 660 • Vigo 986 493 121 • Zaragoza 976 442 878
CIF: ES-A-28388623 • Sociedad Unipersonal inscrita en el Registro Mercantil de Madrid • Tomo 3796, Libro 3º de Sociedades, Folio 172, Hoja 30076
info@absgroup.com.es • www.absgroup.es

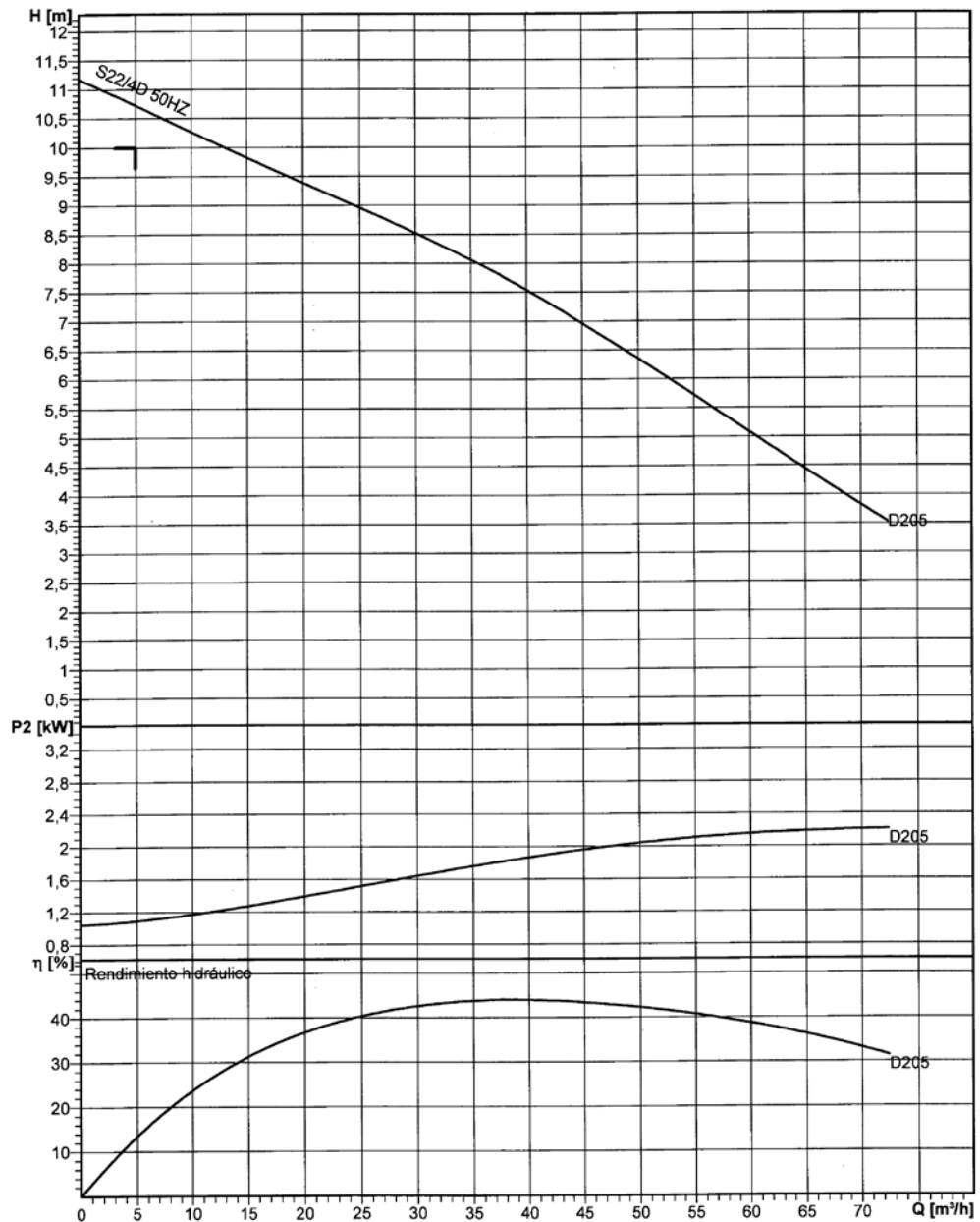


Curva de performance bomba AS 0630 D 50 HZ

Numero curva

Curva de referencia
AS 0630 D

			Boca impulsión DN65	Frecuencia 50 Hz
Densidad 1000 kg/m³	Viscosidad 1,57 mm²/s	Normas de referencia ISO 9906 - Annex A1/A2	Velocidad nominal 1380..1330 1/min	Fecha 24.10.2007
Caudal 5,18 m³/h	Altura 10,7 m	Potencia nominal 1,1 kW	Rendimiento hidráulico 13,9 %	NPSH



Dimensiones rodete 205..130 mm	Nº de paletas 6	Rodete Vortex	Dim. cuerpos sólidos 60 mm	Revisión 2005-06-14
-----------------------------------	--------------------	------------------	-------------------------------	------------------------

ABS se reserva el derecho de modificaciones en los datos y dimensiones sin previo aviso, sin que ello implique ninguna responsabilidad.

ABSEL PRO 1.7.1 / 17.03.2005

BOMBA DE TORNILLO UTILIZADA EN EL CASO 2 DESPUÉS DEL ESPESAMIENTO.

CARACTERISTICAS

BOMBA HELICOIDAL MARCA **MONO**, GAMA "COMPACT" MONOBLOC, CON LA APROBACION DEL LLOYD'S QUALITY:

ISO 9001

MARCA	: MONO
MODELO	: C14KC11RMB
EJECUCION	: HORIZONTAL
FLUIDO A BOMBEAR	: FANGOS ESPESADOS
Tª FLUIDO	: AMBIENTE
VISCOSIDAD	: < 150 CPS
CAUDAL	: 1,5 – 7,0 M³/H.
ALTURA MANOMETRICA	: 20 M.C.A.
VELOCIDAD BOMBA	: 70 - 260 RPM
PASO DE SOLIDOS	: 6mm(DUROS)# 22mm(DEFORMABLES)
POTENCIA ABSORBIDA	: 1,11 KW
PAR DE ARRANQUE	: 55 Nm
PAR FUNCIONAM.	: 41 Nm
POTENCIA RECOMENDADA	: 2,2 KW
N.P.S.H.BOMBA	: 1,98 MCA
CONEX.ASP/IMPULSION	: 65mm DIN 2533; PN-16

MATERIALES

CUERPO	: Hº Fº GG25;BS EN 1561 grado EN-GJL-HB195
ROTOR	: ACERO AISI 4.140/CROMADO(250µ)(1)
STATOR	: CAUCHO SINTETICO PERBUNAN
BIELA	: ACERO AL CARBONO; BS EN 10277; 20NiCrMoS2-2
EJE ACCIONAMIENTO	: ACERO INOX.BS EN 10088; X2CrNiMo17-12-2
SELLADO	: CIERRE MECANICO EN C.SILICIO

(1).- Este espesor en el recubrimiento, lo standard es de 100 micras, garantiza que la vida útil del rotor va a ser muy superior. Posterior a su mecanización y aplicación del tratamiento de dureza, este rotor ha sido sometido a un proceso de pulido para disminuir el desgaste en el stator.

Distribuidor para España:





ACCIONAMIENTO

MOTOR	: ELECTRICO
POTENCIA	: 2,2 KW
VELOCIDAD	: 1.450 RPM
TENSION	: 400 VIts
FRECUENCIA	: 50 Hz
PROTECCION	: IP-55
FORMA CONSTRUCTIVA	: B-5
AISLAMIENTO	: F

REDUCTOR DE VELOCIDAD

MODELO	: DE EJES PARALELOS
ACOPAMIENTO A BOMBA	: MONOBLOC CON BANCADA EN CHAPA DOBLADA
VELOCIDAD DE SALIDA	: ± 240 RPM. A 50 Hz.

Nota.- La variación de la velocidad se podrá realizar, bien mediante un variador mecánico de poleas de garganta desplazable y regulación manual mediante volante situado en la propia máquina, o con la incorporación de un convertidor de frecuencia.

ACABADO

Según normas generales.

- ♦ Granallado superficial mediante granalla angulosa de fundición de coquilla G-47.
- ♦ Imprimación anticorrosiva mediante diluyente ácido de secado rápido, con un espesor entre 15-25 micras.
- ♦ Capa final de resina alquídica con adición de vinilo, con un espesor de capa de 25 micras.
- ♦ Acabado final de 40-50 micras. Color RAL 5005 azul.

ACCESORIOS

Sistema de protección E.T.I., contra funcionamiento en vacío del stator. Consiste en una sonda insertada en el stator de la bomba, que transmite la temperatura al cuadro de control. Cuando la temperatura en la zona hidráulica es superior a la prefijada corta la corriente al motor principal.

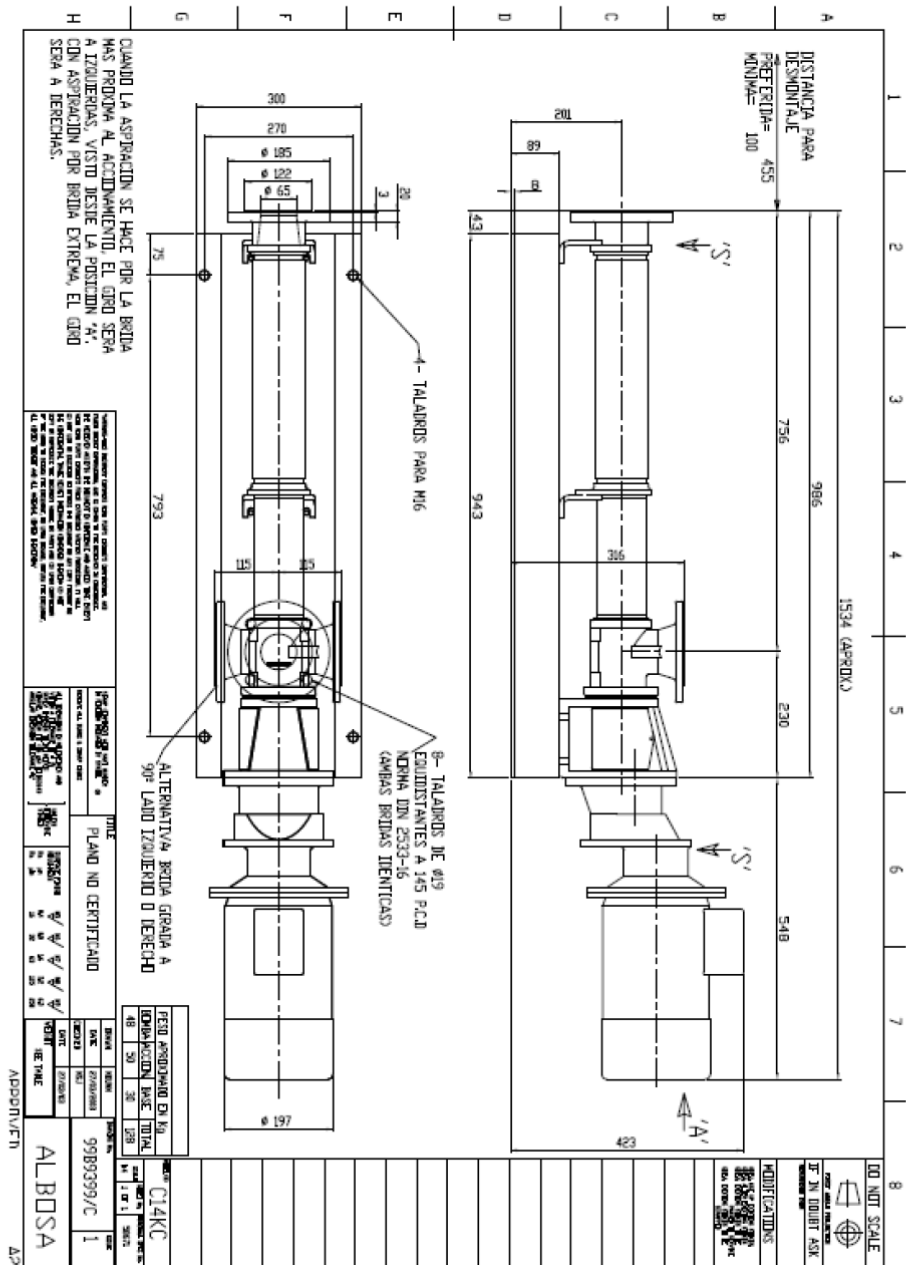
Precio neto grupo con reductor	: 1.469,00 €.
Extra-precio variador mecánico	: 460,00 €.
Extra-precio sistema ETI	: 305,00 €.

Los precios se entienden por material embalado y puesto en la planta.

PLAZO DE ENTREGA	: 5 Semanas, a confirmar.
VALIDEZ DE LA OFERTA	: 3 Meses.
FORMA DE PAGO	: A Convenir

Distribuidor para España:





Mono® **NOV**

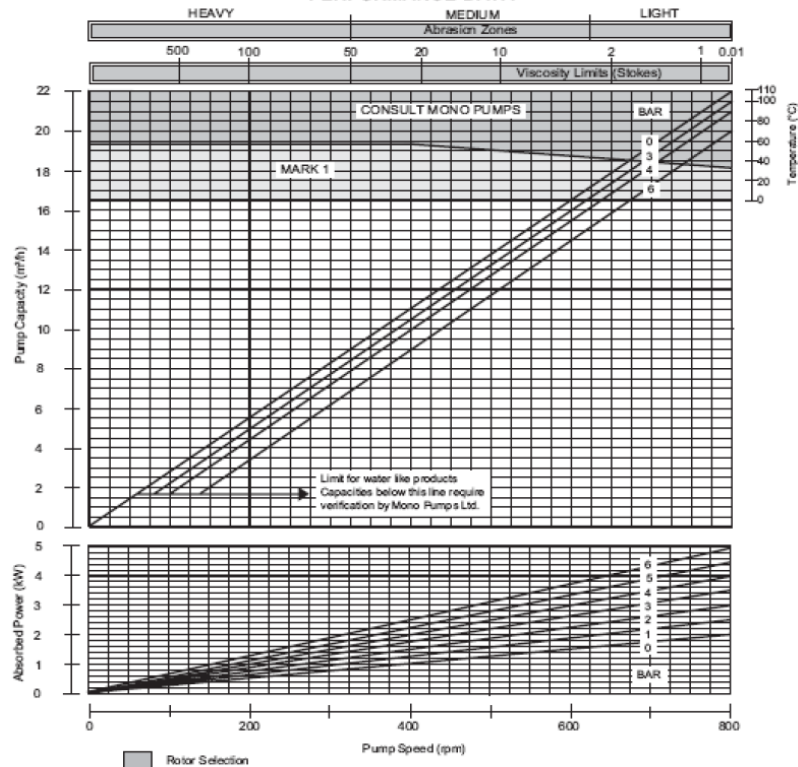


PUMP RANGE	COMPACT
MODEL	C14K
STATUS	CURRENT

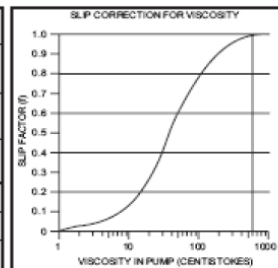


SECTION	3
PAGE	C14K01
DATE	MAR 2006

PERFORMANCE DATA



SLIP CORRECTION		$n = \text{corrected duty speed, } n_s = \text{rpm @ 0 bar, } n_p = \text{rpm @ duty press.}$ $n_s = \text{Slip Speed} = n_p - n_s, f \times n_s = \text{Slip Speed Correction} = f \times n_s$ $\text{Slip Corrected Speed } (n = n_p - f \times n_s)$			
TEST PARAMETERS		Above data represents tests on water @ 20°C using RR and RA stator materials.			
SOLIDS HANDLING (mm)		STARTING TORQUE (Nm)			
Hard Angular	Soft and compressible	Mark 0	Mark 1	Mark 3	Mark 5
6	22		50		



Published information other than that marked certified is to be used as a guide only

Distribuidor para España:



ANEXO 4: Plan de mantenimiento.

El objetivo del plan de mantenimiento consiste en mantener en buen estado las instalaciones y en perfecto funcionamiento en continuo durante largos períodos de tiempo. Las acciones que el mantenimiento tiene que poner en práctica para conseguir los objetivos descritos son:

- Efectuará intervenciones especializadas, preventivas y correctivas sobre la maquinaria e instalaciones a fin de mantener su eficacia, revisiones completas o parciales, reparación de averías, eliminación de anomalías, ejecución de modificaciones y restauración.
- Crear una organización adecuada para la preparación del trabajo, la previsión de los plazos, el aprovechamiento de los materiales y la programación.
- Estudiar y llevar a cabo las negociaciones con las empresas externas a las que se van a encomendar trabajos de mantenimiento concreto que, por la excesiva carga de trabajo momentánea o por la particular especialización, no caben en las posibilidades normales de trabajo.
- Preocuparse por la continua mejora técnica de los medios de que dispone el mantenimiento, renovando los medios en sí o investigando procedimientos y utillajes.
- Cuidar de la puesta al día del nivel técnico de los operarios y del personal de supervisión mediante acciones continuas o directas, aparte de utilizar la documentación específica y organizar cursos de entrenamiento convenientemente preparados.
- Seguir de cerca la puesta en marcha de la maquinaria, instalaciones nuevas, a fin de adquirir los conocimientos teóricos necesarios para el futuro mantenimiento.
- Colaborar constantemente con los departamentos técnicos encargados de proveer elementos, que aporten correcciones y mejoras a la realización de proyectos e implementar programas eficientes de mantenimiento preventivo y, en general, participar en estrecho contacto con los órganos de gestión.
- Participar en la definición de los tipos y cantidades de materiales técnicos a adquirir a proveedores externos, vigilando las faltas de los mismos y cuidando de la organización de los almacenes para su conservación.
- Mantener la seguridad de las instalaciones en un nivel en que el peligro y la probabilidad de accidentes personales queden, al menos teóricamente, eliminados.
- Llevar un registro de los hechos y datos históricos referentes a la naturaleza, frecuencia y coste de las intervenciones efectuadas sobre cada medio de acción.

Mantenimiento de equipos electromecánicos.

La consecución de los objetivos de mantenimiento de equipos se llevará a cabo mediante el establecimiento de unos procedimientos y programas que se detallan a continuación:

- I. **Mantenimiento correctivo:** Es la actividad más clásica en una Planta y nunca debe dejarse de lado la organización de un servicio de resolución de averías, ya que es normal que por problemas accidentales o puntuales, surjan disfunciones en el correcto funcionamiento de las diferentes unidades y equipos.
Para llevar un historial riguroso de las averías de cada dispositivo, se dispondrá en la Planta de un **Libro de Averías, Incidencias y Operaciones de Entretenimiento**.
- II. **Mantenimiento Preventivo Programado:** El Plan de Mantenimiento Preventivo es un complejo proceso, informatizado, que partiendo de las características y datos de cada equipo y de los resúmenes de las informaciones pertinentes sobre el mantenimiento de los mismos elabora unos Programas periódicos de mantenimiento, que permite emitir la Orden de Trabajo para la ejecución de cada actividad de mantenimiento preventivo. El ciclo se completa con el control y registro del mantenimiento ejecutado, realimentando el sistema.
- III. **Mantenimiento modificado:** Son las actividades de mantenimiento que tienden a la modificación de las causas que producen las averías en ciertas máquinas con cierta frecuencia por problemáticas debidas a factores como:
 - Utilización de una maquinaria no expresamente concebida para la función, muy específica, que desarrolla una E.D.A.R.
 - Errores de diseño o selección de materiales.

Mantenimientos especializados.

El mantenimiento de ciertos equipos de las EDARs ha de ser realizado por personal altamente cualificado y con conocimientos específicos de dichos equipos, personal del cual no se dispone en una planta, y por lo tanto hay que recurrir a subcontratar dichos trabajos a empresas especializadas.

Conservación de la obra civil.

Los trabajos y actividades que forman parte de este capítulo, son los correspondientes a trabajos de pintura, blanqueo, reparaciones varias en edificios y obra civil, cerramientos, tanques en general, viales, albañilería, fontanería, etc.

Los tipos de mantenimiento a realizar en la obra civil son:

- Vigilancia y limpieza de las oficinas y de las ventanas en los edificios, con la finalidad de mantener un buen aspecto estético e higiénico de las instalaciones.
- Revisión de las instalaciones eléctricas.
- Revisión de los extintores móviles.
- Revisión de la iluminación de interiores, haciendo hincapié en la depreciación de la luz.
- Revisión de las instalaciones de climatización, conexiones eléctricas, aislamientos de ventanas, control remoto.

- Revisión del estado general de la fontanería, especialmente los aseos, cocinas si la hubiera, conexiones de tuberías, pérdidas en cisternas, etc...
- Revisión del estado de las fachadas, cubiertas, ventanas y puertas, inspeccionando la aparición de humedades, vegetación, desmoronamientos.
- Revisión de los cerramientos vallados, corrigiendo la anomalía con diligencia si revistiera algún tipo de peligro.
- Revisión de la cerrajería, barandillas, balcones, especialmente la aparición de oxidaciones.
- Revisión general de mobiliario. Se revisará el mobiliario, preservando el aspecto funcional y estético de los muebles, con la posibilidad de arreglar las partes deterioradas o sustituir la pieza completa debido a una rotura importante.
- Se procederá al pintado de la fachada de los edificios, teniendo en cuenta el cambio de frecuencia por el uso y por las condiciones meteorológicas.
- Se retocarán los acabados de carpinterías de mediana calidad y decorativos cuidando en eliminar la pintura desprendida.

Mantenimiento de la jardinería.

La superficie ajardinada y la variedad de plantas exigen una labor de mantenimiento realizada por un especialista y que a su vez necesita una mano de obra nada desdeñable. Las labores a realizar son las siguientes:

- Riegos.
- Siegas y podas con tijeras.
- Abonados.
- Aireación y entrecavado.
- Arado de zonas de terriza.
- Limpieza.

Mantenimiento de la red de colectores.

Las labores principales dentro de una red de colectores consistirán en la limpieza periódica de las redes de colectores y en su mantenimiento debido a las averías. Estas acciones se llevarán a cabo tanto en colectores de gravedad como en colectores de impulsión.

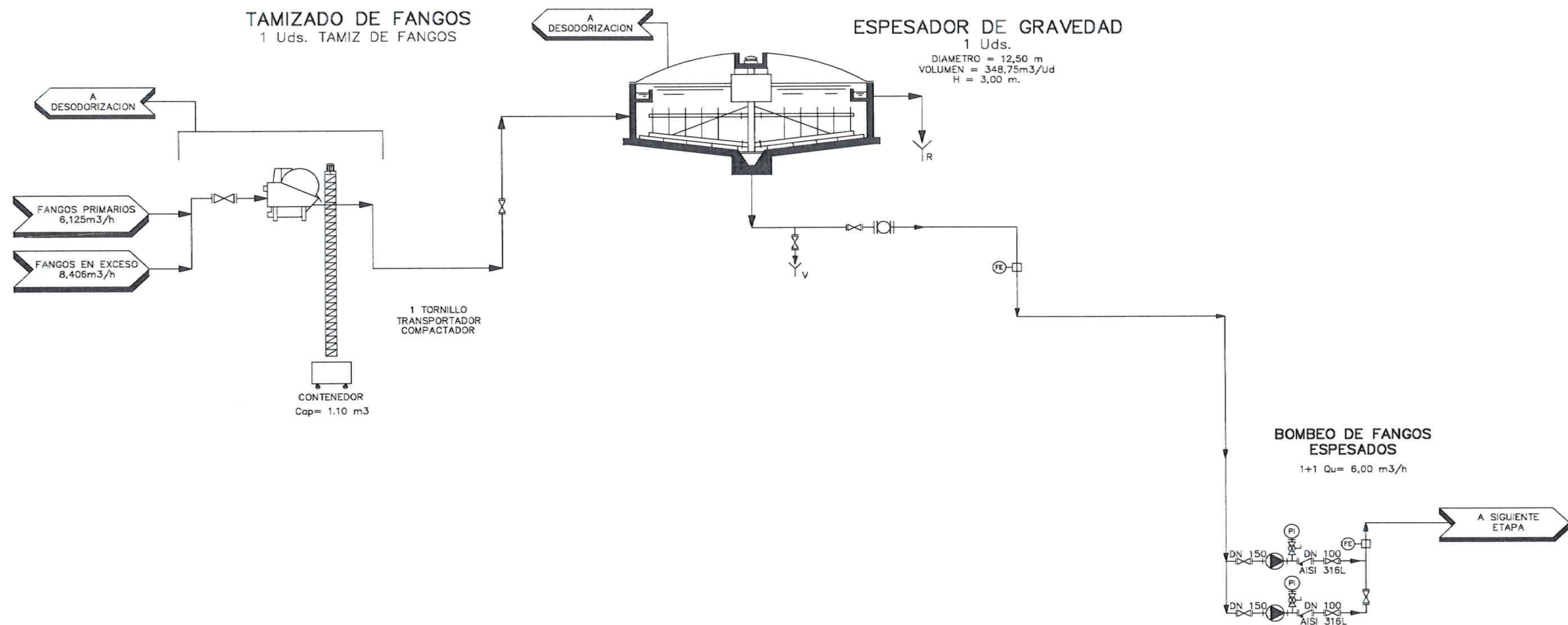
ANEXO 5: Manual de engrase de equipos.

En la siguiente tabla se puede observar una primera aproximación al manual de engrase de nuestros equipos, es decir, cada cuanto es necesario realizar una revisión y un cambio en el lubricante de nuestros equipos:

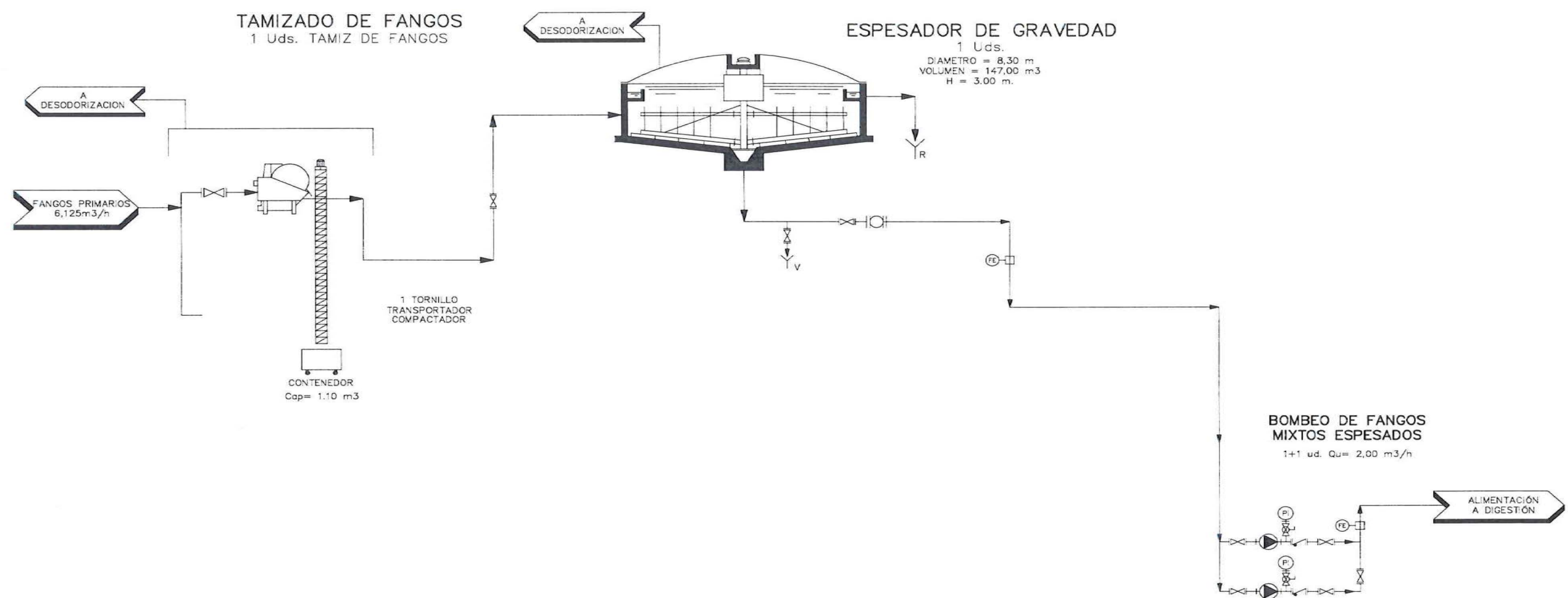
Tabla 0.1. Manual de engrase de equipos.

MÁQUINA	CAMBIO	OBSERVACIONES
Compuertas		
Bombas fangos primarios		Cada 2.000 h. revisión y cambio si es necesario
Bombas flotantes primarios		Cada 2.000 h. revisión y cambio si es necesario
Bomba purga de fangos biológicos		Cada 2.000 h. revisión y cambio si es necesario
Tamiz rotativo		
Espesador por gravedad: Reductor Rossi Reductor Brevini	2.500 h.	Primer cambio a las 100 h.
Bombas fangos espesador gravedad		Cada 3.000 h. revisión y cambio si es necesario
Espesador por flotación	2.500 h.	
Compresores flotación	1.000 h.	
Bombas agua a presurización		Cada 1.000 h. revisión y cambio si es necesario
Equipo polielectrolito flotación		
Dosificadoras polielectrolito		

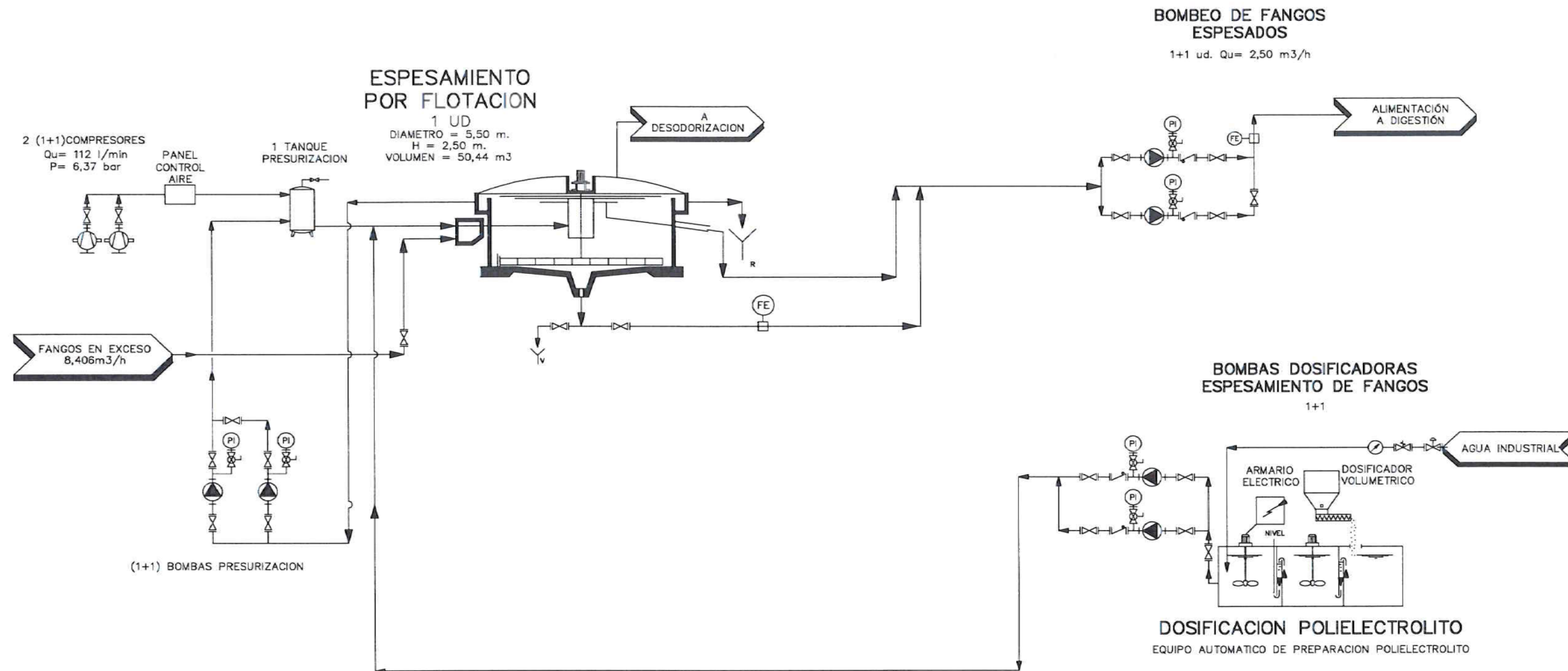
PLANOS



Organismo:		
UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID		
Título del Proyecto:		
Comparación entre dos tecnologías distintas de Espesamiento de Fangos en una E.D.A.R.U.		
Dibujado:	Título del Plano:	Escala:
SN	DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO	S/E
Fecha:	ESPESAMIENTO POR GRAVEDAD DE FANGOS MIXTOS	Plano N°:
Octubre 2011		DF-01
Ing. Autor del Proyecto:		Revisión:
		000



Organismo:		UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID	
Título del Proyecto:		Comparación entre dos tecnologías distintas de Espesamiento de Fangos en una E.D.A.R.U.	
Dibujado:	Título del Plano:	Escala:	
SN	DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO	S/E	
Fecha:	ESPESAMIENTO POR GRAVEDAD DE FANGOS PRIMARIOS	Plano N°:	
Octubre 2011		DF-02 de	
Ing. Autor del Proyecto:		Revisión:	
		000	



Organismo:		
UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID		
Título del Proyecto:		
Comparación entre dos tecnologías distintas de Espesamiento de Fangos en una E.D.A.R.U.		
Dibujado:	Título del Plano:	Escala:
SN	DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO	S/E
Fecha:	ESPESAMIENTO POR FLOTACIÓN DE FANGOS EN EXCESO	Plano N°:
Octubre 2011		DF-03
Ing. Autor del Proyecto:		Revisión:
		000